



Daniel Alexandre Estilita Antunes

Licenciado em Ciências da Engenharia Eletrotécnica e
Computadores

Integração de Modelos BIM com Redes de Sensores num Edifício

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e Computadores

Orientador: Doutor João Francisco Alves Martins,
Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Doutor João Miguel Murta Pina

Arguente: Mestre Pedro Miguel Negrão Maló

Vogal: Doutor João Francisco Alves Martins



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março 2013

Copyright

Integração de Modelos do tipo BIM com Redes de Sensores num Edifício

Daniel Alexandre Estilista Antunes – Todos os direitos reservados.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

É estranho estar aqui a escrever estas linhas após tantos anos de vida académica que pareciam nunca mais ter fim. Não sei se algum dia terão, pois a aprendizagem é um percurso constante ao longo de toda uma vida.

Os primeiros agradecimentos vão para o Professor João Martins e o Vasco Gomes, o primeiro porque me inspirou na hora de escolher um tema para dissertar (para as minhas escolhas de tema o critério foi sempre o orientador) e o segundo pelo apoio que me deu ao longo da realização desta tese principalmente na reta final onde também o primeiro nunca desistiu de me ajudar.

Esta tese de mestrado, como conclusão de uma etapa difícil da minha vida, se prova alguma coisa é que a força de vontade e a perseverança são fortes qualidades as quais devem ser atribuídas à educação e formação que tive o privilégio de receber por parte dos meus pais. A eles o meu agradecimento especial. Acreditaram sempre que eu conseguiria, mesmo quando eu próprio duvidava.

Igualmente importante foi o companheirismo e devoção demonstrados quer pelo meu mano quer pela Joana, que foram incansáveis no apoio e confiança que sempre depositaram em mim nunca me deixando desanimar mesmo nos momentos mais difíceis.

Uma palavra de apreço para o Sérgio, o Viegas, o Lourenço, o David, a Sofia e a Catarina que foram verdadeiros colegas e amigos e sem eles não teria sido possível concluir este percurso tão exigente.

De referir ainda as inúmeras conversas com os primaços sob as estrelas em Armona e em Unhais que em muito contribuíram para momentos de introspeção e também de alguma (mas pouca...) inspiração ☺.

Abstract

Energy is one of the main concerns of the human beings because without it, would not be possible to maintain or continue growing our societies to meet the expected level of developed or developing civilizations. This constant and exponential world need for energy leads us to scenarios of rupture in production and distribution, essentially fossil energy which is the main reason for many global conflicts these days.

This way, many leaders are starting to invest seriously in so called alternative energy, deriving from renewable sources and so inexhaustible. This investment also focuses in sustainability and energy efficiency because generating clean energy is such as important as managing and optimizing energy costs. Those two words, sustainability and energy efficiency, represent not only the present but also the future of civilizations as we know it.

Intelligent homes, net-zero buildings and many more structures are now a reality with the main goal being the drastic reduction of energy resources consumption and a more rational use of energy.

In order to meet these objectives, many tools came up in the construction industry to support every step in the way of making new buildings, from design through maintenance. Building Information Modeling, a powerful 3D CAD tool and Industry Foundation Classes for data transfer and sharing, were born.

Inspired by those concepts, emerged this master thesis in the sense of exploring the integration of BIM and IFC and in what way this integration will result in greater and more intelligent energy management systems. To that accomplishment, ArchiCAD 15 and Revit Architecture 13, the two most relevant players in this industry, were studied, integrating in each one a small sensors network, like humidity, CO₂, electric current or occupation sensors just to name a few. Then, was observed how would this software interact with the real world and how can anyone extract information from the 3D BIM model using IFC export.

Keywords: Building Information Modeling, Energy Efficiency, Sustainability, Smart Buildings, Industry Foundation Classes, Sensors Network

Resumo

Uma das principais preocupações do ser humano é a energia, sem esta não seria possível manter e continuamente desenvolver as nossas sociedades e o nosso modo de vida atual, sejam elas civilizações mais ou menos evoluídas. Esta exponencial procura de energia por parte mundo global leva a que se considerem cenários de rutura na produção e distribuição de energia, principalmente das energias de origem fóssil, sendo estas motivo de conflitos um pouco por todo o mundo.

Neste contexto, os líderes de alguns países, começaram a investir mais seriamente nas chamadas energias alternativas, provenientes de fontes renováveis e como tal inesgotáveis. Mas não foi só na produção de energia que se investiu. Tão ou mais importante do que gerar energia limpa é necessário gerir e otimizar os gastos energéticos. Chegamos assim aos conceitos de eficiência energética e sustentabilidade, nomes que para muitos representam já o presente mas essencialmente o futuro da civilização tal como a conhecemos.

Começaram a aparecer as casas inteligentes, os edifícios *net-zero energy* e muitos mais tipos de estruturas cujo objetivo primordial passa por reduzir drasticamente o consumo de recursos energéticos e tornar a sua utilização mais racional.

Para tal, várias ferramentas surgiram na indústria da construção civil com o intuito de apoiar desde a conceção (pré-construção), até à manutenção e exploração (pós-construção) de um edifício passando claro pela construção propriamente dita. Assim nascem o *Building Information Modeling*, ou BIM, ferramenta poderosa de CAD 3D e o formato IFC de interoperabilidade para partilha e transferência de dados.

Foi inspirado nestes conceitos que surgiu esta dissertação de mestrado, no sentido de explorar a integração de um com o outro e de que forma essa integração irá refletir-se em melhores e mais inteligentes sistemas de gestão de energia. Para isso foram estudados dois dos mais relevantes programas de 3D BIM existentes no mercado, o ArchiCAD 15 e o Revit Architecture 13, onde em cada um deles se testou a integração de uma rede de sensores variados, desde sensores de humidade até sensores de CO₂, corrente elétrica ou ocupação, entre outros. Verificou-se de que forma estes programas interagiam com o mundo exterior, nomeadamente de que forma se efetua a partilha da informação criada nos modelos 3D com recurso a exportação para o formato IFC.

Palavras-Chave: Building Information Modeling, Eficiência Energética, Sustentabilidade, Edifícios Inteligentes, IFC, Redes de Sensores, Interoperabilidade, Multi-Model View

Índice

Copyright	iii
Agradecimentos	v
Abstract	vii
Resumo	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
Lista de abreviaturas.....	xvii
Capítulo 1. Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos.....	1
1.3 Metodologia	2
1.4 Estrutura da Tese	2
Capítulo 2. Estado da Arte.....	5
Capítulo 3. Building Information Modeling	9
3.1 BIM – breve descrição	9
3.2 BIM e a indústria.....	9
3.3 A mudança	9
3.4 BIM em Portugal.....	13
3.5 Valor acrescentado do BIM	14
3.6 Comparativo entre software BIM	20
3.7 Energy Efficient Building Information Modeling (eeBIM)	25
3.8 Análise Energética.....	26
Capítulo 4. Interoperabilidade.....	31
4.1 Modelos de Interoperabilidade	31
4.1.1 Impedimentos à interoperabilidade	31
4.1.2 gbXML (green building XML)	32
4.1.3 IFC (Industry Foundation Classes)	32
4.1.4 gbXML vs. IFC.....	33
4.2 Multi-Model Views	34
4.2.1 Controlo (IfcBuildingControlsDomain)	34
4.2.2 Elementos Elétricos (IfcElectricalDomain)	36
4.2.3 HVAC (IfcHvacDomain).....	37

4.2.4	Outras Entidades	40
4.3	Definição de Propriedades	42
Capítulo 5.	Implementação	45
5.1	Primeira Fase – ArchiCAD 15	45
5.1.1	Projeto	45
5.1.2	Propriedades e atributos.....	49
5.1.3	Exportação do Modelo	52
5.1.4	Visualização do Modelo	53
5.1.5	Conclusão	55
5.2	Segunda Fase – Revit Architecture 2013	55
5.2.1	Projeto	55
5.2.2	As Famílias de objetos e a edição das suas propriedades.....	57
5.2.3	Exportação do modelo	62
5.2.4	Visualização	62
Capítulo 6.	Conclusões e Trabalho Futuro	65
6.1	Conclusões Gerais	65
6.2	Trabalho Futuro	66
Bibliografia.....		67
Anexos		71

Lista de Figuras

Figura 1 - A figura apresenta uma previsão cronológica para a mudança de CAD para BIM [25]	10
Figura 2 - Retorno do Investimento por nível de experiência com o BIM Error! Reference source not found.....	15
Figura 3 - ROI percebido pelos diversos elementos de uma equipa [28].	16
Figura 4 - As melhores formas de melhorar as capacidades do BIM [28].....	17
Figura 5 - Valor acrescentado do BIM por fase do projeto [28].....	18
Figura 6 - A importância do BIM daqui a 5 anos [28].....	19
Figura 7 - Obstáculos à adoção do BIM [28].	19
Figura 8 - Exemplo de uma simulação energética para um edifício de escritórios em Abu Dhabi, com valores para a geometria do edifício e as necessidades energéticas do mesmo [19].	27
Figura 9 - Exemplo de uma simulação energética com os valores da energia consumida, os custos dessa energia e as emissões de CO ₂ resultantes[19].....	28
Figura 10 - Quantidades de energia consumida por atividade[19].....	29
Figura 11 – Balanço energético mensal para o mesmo edifício em Abu Dhabi [19].	30
Figura 12 – Arquitetura do IfcBuildingControlsDomain [17].	36
Figura 13 - Arquitetura do IfcElectricalDomain [17].....	37
Figura 14 - Arquitetura do IfcHvacDomain [17].	39
Figura 15 - A figura mostra graficamente como uma ocorrência pode estar associada a um tipo e a vários históricos de desempenho [21].	40
Figura 16 - Árvore contendo todos os elementos criados com as designações em IFC	46
Figura 17 - Vista 2D do Gabinete 1 com todos os elementos criados	47
Figura 18 - Vista 3D do interior do escritório projetado.	48
Figura 19 - Vista 3D do exterior do gabinete projetado.....	48
Figura 20 - Propriedades IFC editáveis num espaço de escritório: Sistema de Ventilação (Pset_AirSideSystemInformation).....	49

Figura 21 - Propriedades IFC editáveis num espaço de escritório: Requisitos de Iluminação (Pset_SpaceLightingRequirements), Requisitos de Ocupação (Pset_SpaceOccupancyRequirements) e Requisitos de Segurança (Pset_SpaceFireSafetyRequirements)	50
Figura 22 – Propriedades IFC editáveis num espaço de escritório: Requisitos Térmicos (Pset_SpaceThermalRequirements).....	51
Figura 23 - Opções de Exportação do modelo BIM criado para o modelo IFC.	53
Figura 24 - Visualização do modelo IFC simplificado após exportação. A transparência escolhida permite ver os elementos no interior do escritório.....	54
Figura 25 - Vista geral do primeiro piso de escritórios onde é visível o Room2 a azul com os dois cubículos e os cinco sensores.....	56
Figura 26 - Vista geral do segundo piso de escritórios onde é visível o Room3 a azul com os dois cubículos e os dois sensores.	57
Figura 27 - Propriedades alteradas para uma família de cubículos	58
Figura 28 - Exemplo de alguns parâmetros editáveis individualmente para cada cubículo.....	59
Figura 29 - Ligação entre os sensores do modelo BIM e os sensores reais.	60
Figura 30 - Exemplo de alguns parâmetros editáveis no sensor de Energia.....	61
Figura 31 - Resultado da exportação do modelo BIM criado no Revit Architecture 13 e visualizado no Tekla BIMsight em formato IFC.	63

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Resumo da evolução dos aspetos positivos e das preocupações na fase 1.0 [25]	11
Tabela 2 - Resumo da evolução dos aspetos positivos e das preocupações na fase 2.0 [25]	12
Tabela 3 - Resumo da evolução dos aspetos positivos e das preocupações na fase 3.0 Error! Reference source not found.....	12
Tabela 4 – Quadro comparativo das características do software BIM [24]	24
Tabela 5 – Exemplo de definição das propriedades gerais para um sensor de temperatura [21].	42
Tabela 6 – Exemplo da definição das propriedades IFC de um sensor de temperatura [21].	43
Tabela 7 - Exemplo de um schedule que permite visualizar a informação relativa aos sensores implementados.	62

Lista de abreviaturas

BIM	Building Information Modeling
BAS	Building Automation System
CO ₂	Dióxido de Carbono
IFC	Industry Foundation Classes
AIA	American Institute of Architects
2D, 3D, 4D, 5D, nD	Duas, três, quatro, cinco, n dimensões
eeBIM	Energy Efficient Building Information Modeling
HVAC	AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado)
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
API	Application Programming Interface
A&D	Analysis and Design
gbXML	Green Building Extensible Markup Language
EXPRESS	Data Modeling Language
AEC	Architecture, Engineering and Construction
CAD	Computer-Aided Design
XML	Extensible Markup Language
IAI	International Alliance for Interoperability
ISO	International Organization for Standardization
IFC-SPF	Industry Foundation Classes Step File
IFC-XML	Industry Foundation Classes Extensible Markup Language
IFC-ZIP	Industry Foundation Classes Compressed File
CO	Monóxido de Carbono
EUA	Estados Unidos da América
ZPM	Zneth Power Monitor
USB	Universal Serial Bus
PC	Personal Computer
Wi-Fi	Wireless Network
DBMS	DataBase Management System
TCP/IP	Internet Protocol
IPD	Integrated Project Delivery
INCI	Instituto Nacional de Construção e Imobiliário
INE	Instituto Nacional de Estatística
ROI	Return of Investment
GDL	Geometric Description Language
NURBS	Non Uniform Radial Bsplines

Capítulo 1.

Introdução

1.1 Motivação

Hoje em dia as palavras que suscitam talvez maior interesse junto das comunidades são sustentabilidade e eficiência. Neste enquadramento, pretende-se com esta tese de mestrado juntar dois mundos até há pouco tempo desconhecidos um do outro, a Engenharia Eletrotécnica e o *Building Information Modeling* (BIM).

Os modelos de informação de um edifício contêm detalhes preciosos para quem lida diariamente com tecnologias que se pretendem cada vez mais sustentáveis. Nesse sentido, o objetivo inerente a este trabalho prende-se com a integração de modelos BIM numa rede composta por sensores, atuadores, equipamentos de produção e distribuição de energia e contagem de consumos energéticos.

Deste modo consegue-se uma maior eficiência energética ao longo de todo o ciclo de vida do edifício, visto que a informação em tempo real introduzida no BIM permite que alterações sejam realizadas com vista à melhoria dos processos necessária à obtenção dessa eficiência energética superior.

1.2 Objetivos

O objetivo geral a que se propõe esta tese de mestrado é o da integração de modelos do tipo BIM com uma rede de sensores e atuadores, presentes num edifício, tendo em vista a monitorização, distribuição e produção energética. Mais especificamente, este trabalho pretende explorar a utilização dos modelos BIM em aplicações mais abrangentes como a monitorização em tempo real da ocupação humana num edifício.

Conta com uma vasta rede de sensores que permitem receber informação continuamente de modo a perceber o ambiente envolvente e uma outra rede de atuadores que em função dessa informação recebida agirá em conformidade. Deste modo torna-se possível controlar todas as movimentações dentro de um espaço e de acordo com um padrão estabelecido, regular os aparelhos de aquecimento/arrefecimento, iluminação artificial e natural, entre outros, com o intuito de otimizar o uso da energia.

Um dos principais desafios é estudar um dos *standards* mais relevantes da indústria, o IFC (*Industry Foundation Classes*) na medida em que a sua integração com o BIM permite realizar transferências de dados entre o mundo real e o modelo 3D, desta forma preenchendo uma das principais lacunas existentes atualmente: a interoperabilidade. Pretende-se para este efeito

estudar duas das mais populares ferramentas BIM do mercado, o ArchiCAD e o Revit Architecture, percebendo qual a sua forma de interação e partilha de dados com o IFC e explorar a integração das redes de sensores nos modelos BIM criados em cada uma delas.

1.3 Metodologia

À luz dos objetivos traçados, será desenvolvido um modelo computacional que permitirá analisar as duas ferramentas principais deste estudo, o ArchiCAD e o Revit Architecture. Nesta metodologia serão integrados os dois modelos independentes criados quer para uma ferramenta, quer para outra. Para isso foram pensadas duas fases distintas: na primeira fase, em ArchiCAD, pretende-se recriar o ambiente de um escritório sendo para tal necessário desenhar o escritório propriamente dito e todos os elementos que o compõem como cadeira, secretária, estante, alguns sensores e ainda outros objetos com o intuito de estudar a adição/remoção/edição de propriedades e atributos de cada um deles em especial nos sensores, foco principal desta tese.

Numa segunda fase irá ser criado no Revit um modelo de um edifício de escritórios com dois pisos, onde serão integrados vários objetos à semelhança do que foi realizado na primeira fase mas aqui iremos um pouco mais longe. Os objetos a serem criados serão pequenos cubículos individuais cada um com vários sensores (energia, movimento, ocupação, humidade e dióxido de carbono), distribuídos pelos dois pisos. Será então analisado o processo de edição de propriedades de modo a tentar perceber qual dos dois modelos criados é o mais rico e completo em detalhes e verificada a sua capacidade de acrescentar e editar atributos a cada um dos objetos sendo que tal como anteriormente o foco incidirá essencialmente nos sensores.

1.4 Estrutura da Tese

Esta dissertação de mestrado encontra-se dividida em oito distintos capítulos referentes respetivamente à Introdução, Estado da Arte, *Building Information Modeling*, Interoperabilidade, Implementação, Conclusões e Trabalho Futuro, Bibliografia e Anexos. O primeiro destes capítulos possui quatro subcapítulos que dizem respeito à motivação para a realização deste trabalho, os objetivos propostos, a metodologia usada e a estrutura da tese.

No segundo capítulo, Estado da Arte é realizada uma perspetiva abrangente de tecnologias relevantes na área do BIM, interoperabilidade e sistemas de informação em tempo real.

O capítulo número três aborda a temática do BIM propriamente dita relevando em oito subcapítulos os benefícios desta tecnologia, a sua relação com a indústria onde se insere, as mudanças operadas, o estado da tecnologia em Portugal, o valor acrescentado trazido às empresas, um estudo comparativo entre vários programas que utilizam o BIM, as novas aplicações como o BIM eficiente (eeBIM) e também as análises energéticas possíveis através deste modelo.

O quarto capítulo assenta nos modelos de interoperabilidade onde é dado a conhecer as vantagens e desvantagens dos dois principais modelos de transferência de dados na indústria, o gbXML(*green building XML*) e o IFC. Dentro deste último existem ainda alguns subcapítulos que aprofundam o conhecimento sobre o *Industry Foundation Classes*, que foi o modelo de partilha de dados adotado para este projeto e duas das mais populares ferramentas BIM, o ArchiCAD e o Revit Architecture. Aborda-se ainda o conceito de *multi-model view* e as vantagens que este apresenta e também as várias entidades presentes nas classes IFC são vistas com maior detalhe incluindo a definição de propriedades.

O capítulo da Implementação foi separado em duas fases consonantes com os dois programas BIM utilizados e onde é descrita a evolução e continuidade em cada um deles, sucintamente explanando os processos usados ao longo de todo este processo.

Por último, na Conclusão faz-se referência às dificuldades apresentadas ao longo do projeto e o trabalho futuro a ser desenvolvido no seguimento do mesmo. Finalmente, existe ainda um espaço para as referências bibliográficas usadas para realizar este projeto e outro para os anexos contendo a descrição de várias entidades em linguagem EXPRESS.

Capítulo 2.

Estado da Arte

Existem alguns trabalhos realizados nas áreas de integração do BIM com redes de sensores e monitorização de eventos em tempo real. Esta última encontra diversos projetos elaborados com o objetivo do desenvolvimento de aplicações de monitorização dos consumos energéticos de modo a que o utilizador possa de facto ser parte integrante do esforço de sustentabilidade reduzindo o consumo e o desperdício fazendo uso de redes inteligentes de gestão energética. Wisan Nader [1] refere na sua dissertação de mestrado que o consumo de energia nos edifícios residenciais é cerca de 21% nos EUA e que 41% dessa energia é desperdiçada em grande parte por gastos relacionados com aparelhos em *standby* e uso indevido de energia como iluminação em espaços sem ocupação. Tal problema deve ser corrigido e segundo Wisan Nader a monitorização em tempo-real permite reduzir os consumos energéticos entre 10% a 20%. Como tal desenvolveu um sistema de monitorização de energia para habitações familiares a que deu o nome de ZPM (*Zneth Power Monitor*) e cujo ponto forte é a interface amigável com o utilizador onde o controlo de todas as ações é colocado nas mãos deste. Ao encontrar o equilíbrio entre a quantidade de informação necessária e dispensável este sistema permite um controlo mais individualizado dos gastos energéticos na habitação, ao mesmo tempo que recolhe toda a informação sobre as quantidades de energia consumida num dado instante e num dado local para posterior estudo sobre como otimizar o uso dessa energia.

A necessidade de controlar de uma forma mais eficiente os consumos energéticos nos edifícios leva a que se pense de outra forma na utilização dos espaços pelas pessoas. Na perspetiva do estudo de Azam Khan [2] este é um dos caminhos até aos *Net-Zero Buildings*, edifícios que produzem a mesma quantidade de energia que consomem. A estratégia adotada para atingir este propósito começa nos ganhos em eficiência na ordem dos 75% através da própria conceção do edifício e tecnologia aplicada, sendo que os restantes 25% poderiam provir de fontes renováveis, gerados a nível local fazendo uso de turbinas eólicas e painéis solares. Segundo Azam Khan, os sistemas inteligentes devem agir sobre os equipamentos HVAC, aquecendo ou arrefecendo primeiro as zonas ocupadas do edifício, usando para esse fim sensores de movimento, luz e CO₂ integrados no mobiliário de escritório. Azam Khan explica que as pessoas expiram CO₂ em quantidades previsíveis e como tal um sensor de CO₂ permite, em conjunto com sensores de movimento, avaliar a presença de ocupantes num dado espaço e ajustar os níveis de ventilação desse mesmo espaço.

No que diz respeito à integração de tecnologias, o trabalho de Zeeshan Mohammed [3] sobre o potencial e inovação na indústria da construção, discute a sincronização entre o BIM (*Building Information Modeling*) e o BAS (*Building Automation System*) que têm sido vistos como processos independentes e isolados um do outro, o primeiro sendo útil na coordenação em fase de conceção e construção do edifício, o segundo tendo um papel relevante no pós-construção, manutenção e exploração. De acordo com Zeeshan Mohammed, o BIM apresenta

um potencial enorme quando aliado a um sistema de monitorização em tempo-real como o BAS o que proporcionaria aquisição de dados em tempo-real em quatro dimensões, sendo as três dimensões físicas e uma quarta dimensão adicionada: tempo. A inovação, segundo Zeeshan, está em introduzir todos estes dados num formato aberto que seja simultaneamente acessível ao BIM e ao BAS e compatível com as várias marcas associadas a um e a outro.

A interoperabilidade é um dos aspetos fundamentais desta tese e o trabalho de Niels Tredal de 2008 [4] está precisamente relacionado com um dos *standards* mais relevantes na indústria, o IFC (*Industry Foundation Classes*) [5], na medida em que apresenta um estudo literário onde pretende identificar como o processo de conceção de um edifício pode ser melhorado com o recurso ao BIM e em particular como a partilha de dados proporcionada pelo IFC pode ser bastante relevante em todo este processo. O estudo incidiu particularmente nas potencialidades do IFC como ferramenta de transferência de dados e Niels Tredal concluiu que 70% de todos os dados, das cinco ferramentas de simulação energética estudadas, podem ser definidos usando o IFC ao passo que os restantes 30% não podem ser definidos ou são insuficientemente definidos por este *standard*. Niels Tredal apresenta ainda uma solução para melhorar a interoperabilidade entre os vários sistemas que passa por definir alguma da informação como *time series* (ver capítulo 4.2.4).

Numa abordagem mais prática, Ramtin Attar [6], centrando as preocupações de conforto e comodidade nos ocupantes do edifício ao invés das abordagens centradas nos sistemas HVAC, propõe uma solução de integração de sensores em cubículos de escritório. Ramtin Attar apresenta a vista geral de um protótipo que assenta as suas funcionalidades na perceção sensorial, armazenamento dos dados recolhidos e visualização do desempenho do edifício para posterior análise. Para tal, cada cubículo é tratado como uma célula de recolha de dados com limites definidos que permitem avaliar o conforto e o uso de energia por parte do ocupante, ficando deste modo garantido que apesar das modificações sofridas pelo edifício, a recolha de dados localmente será sempre efetuada. Para Ramtin Attar, o aspeto chave é ligar semanticamente objetos do mundo real aos objetos presentes no BIM, bem como armazenar a identidade de cada sensor de modo a ser possível correlacionar os valores medidos por cada um deles às características do local encontradas no modelo BIM. No protótipo apresentado, os sensores estão ligados a placas de interface que convertem o sinal analógico em digital e que por sua vez estão ligadas por USB a um PC com Wi-Fi, com o intuito de enviar os dados recolhidos localmente por cada cubículo para uma base de dados relacional, DBMS (*DataBase Management System*).

Alan Edgar [7], propõe um modelo de edifícios inteligentes onde o papel central é dado às redes de comunicação TCP/IP, elemento agregador dos vários sistemas tecnológicos presentes onde o incremento de segurança e eficiência são questões fulcrais. Alan Edgar coloca a rede de comunicação ao nível dos sistemas elétricos, de gás e água de um edifício e propõe melhorar os aspetos de segurança e emergência, agregando informação proveniente do BAS com informação ao nível da operacionalidade do edifício e dados geospaciais, proporcionando deste modo experiências únicas ao cliente e análises de desempenho ao longo da vida útil do edifício.

A presente dissertação de mestrado dá um passo no sentido de apurar quais as reais vantagens, desvantagens, preocupações e soluções da utilização de redes de sensores implementadas em modelos tridimensionais do tipo BIM.

A interoperabilidade do *Building Information Modeling* com o *Industry Foundation Classes*, através da exportação do modelo 3D BIM para o modelo IFC permite perceber de que forma o mundo virtual se relaciona com o mundo real e de que forma a informação que transita entre um e outro é percebida pelos utilizadores.

Com a entrada dos engenheiros, em especial os engenheiros eletrotécnicos, num universo até então praticamente exclusivo dos arquitetos, construtores e empreiteiros foram levantadas algumas questões no que diz respeito à visão que cada um tem dos modelos 3D BIM e é também nesse sentido que este trabalho ajuda a entender melhor de que forma podem todos os profissionais do setor colaborar tendo como objetivo comum e prioritário a otimização na criação de espaços que se querem cada vez mais eficientes e sustentáveis.

Capítulo 3.

Building Information Modeling

3.1 BIM – breve descrição

O *Building Information Model* (BIM) é uma representação virtual de um edifício contendo toda a informação necessária ao seu projeto, construção e manutenção usando computadores e programas informáticos. Um dos objetivos do BIM é gerar e gerir todos os dados relativos a um edifício durante todo o seu ciclo de vida, criando um único repositório de documentação desde o desenho e construção do edifício até às suas especificidades e agendamentos. Pode ser visto como uma representação digital do projeto do edifício que facilita a troca e interoperabilidade da informação em formato digital [8] e pode incluir representações 2D, 3D, 4D (tempo-agendamento), 5D (informação de custos), nD (energia, sustentabilidade, gestão das instalações, etc.) do projeto[9].

3.2 BIM e a indústria

O BIM está a proliferar na indústria dos edifícios. É considerável a penetração deste processo de modelação visto que em 2008 era de apenas 20% a 30% [10]. O BIM pode ser usado com sucesso em quase todas as disciplinas e praticamente em todo o tipo de projetos, mas a indústria ainda está no início no que diz respeito ao total aproveitamento das potencialidades do BIM.

Um dos princípios básicos nas aplicações do BIM é a capacidade de introduzir dados uma vez e depois usar esses dados repetidamente ao longo do ciclo de vida do projeto. Mesmo assim, ainda há muitas situações em que o BIM é usado de forma independente para apenas uma ou duas aplicações no projeto. No entanto nem todos os agentes envolvidos na indústria (arquitetos, engenheiros, empreiteiros, entre outros) estão a usar o BIM nas tarefas mais comuns ou da mesma forma. Por isso alguns *standards* devem de ser desenvolvidos com a maior brevidade possível[10].

3.3 A mudança

Dennis Nealey da AIA (*American Institute of Architects*) apresenta um texto onde aborda as mudanças que o BIM pretende operar na vida profissional dos arquitetos, engenheiros e construtores e o que tem vindo a ser feito por estes ao longo dos anos. Revela que “o BIM transformará o papel, as responsabilidades, a educação e o treino para todos os que lidam com ambientes de construção” subdividindo a progressão do BIM em três fases distintas: BIM 1.0, BIM 2.0 e BIM 3.0.

A primeira é aquela na qual a maioria tem vindo a trabalhar, criando esboços, renderizações e animações. A segunda olha para a forma como o BIM pode ser relacionado com a componente de análise ao passo que a terceira lida com simulações de projetos.

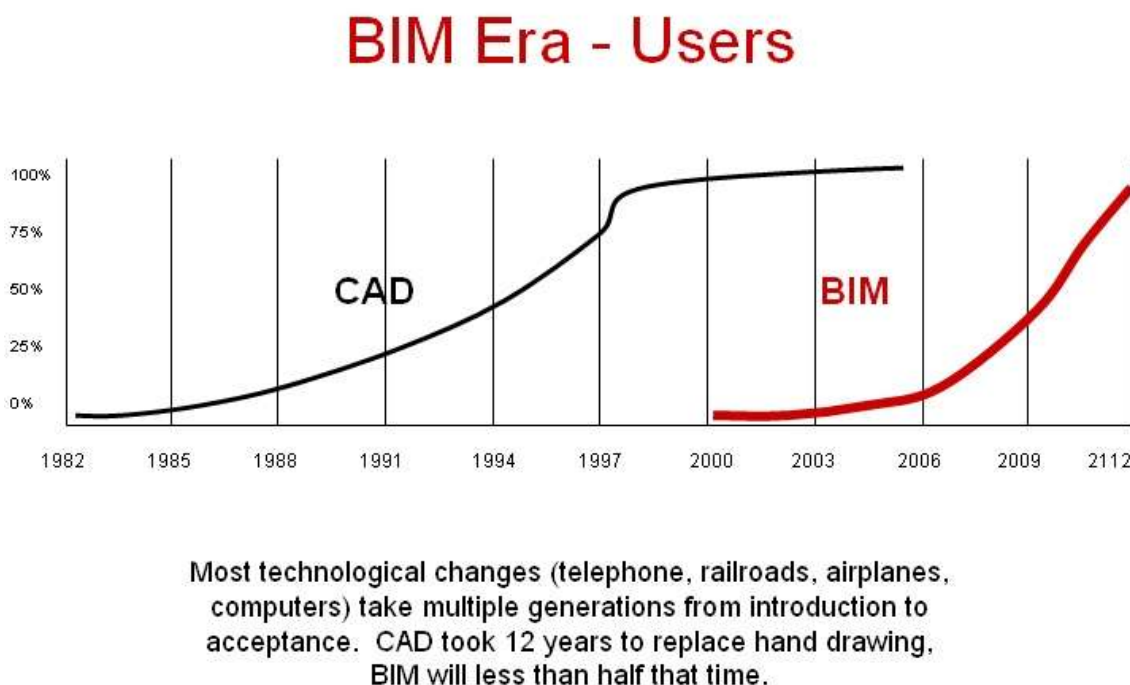


Figura 1 - A figura apresenta uma previsão cronológica para a mudança de CAD para BIM [25]

Do que mostra a (Figura 1) pode ver-se que é esperado que o BIM substitua o CAD em metade do tempo que levou ao CAD para substituir os desenhos em papel.

BIM 1.0 - Visualização e Desenho

A grande maioria dos projetistas está a usar o BIM para criar esboços, calendários e renderizações. Para isso vão necessitar de bibliotecas e conjuntos de objetos, ambos genéricos e específicos de um determinado fabricante.

A exportação dos dados do modelo BIM criado, de modo a chegar àqueles que precisam dessa informação, é crítica e apesar de ser uma condição essencial, pois é exigida pelos donos dos projetos, os projetistas ainda não se sentem muito confortáveis com este passo, mas é uma questão de tempo até ser óbvio para todos as melhorias implementadas com este processo.

Relativamente aos empreiteiros, o BIM (parte gráfica e dados) está a ser usado para calcular custos de uma forma mais precisa pois tanto os custos com fornecedores como os custos dos fabricantes são acedidos digitalmente.

Como visto acima, o projeto é partilhado com os empreiteiros, fornecedores, distribuidores e outros intervenientes do projeto e todos acrescentam o seu trabalho ao projeto enriquecendo-o assim com informação valiosa. Os possíveis conflitos são descobertos e resolvidos ainda antes do início das obras de construção.

Passada a fase de construção o projeto BIM é essencial na medida em que é constantemente atualizado de forma a poder ser usado posteriormente pelo dono de obra em operações de manutenção do edifício [25].

Tabela 1 - Resumo da evolução dos aspetos positivos e das preocupações na fase 1.0 [25]

Ano	Aspetos Positivo	Preocupações
2009	Reduz erros e omissões; Reduz o tempo de criação de esboços em papel	Falta de treino; Falta de objetos tanto genéricos como específicos do fabricante
2010	Esperado pelos donos de projeto; Podem ou não, aumentar as despesas com arquitetos; Cada vez mais fabricantes entendem a necessidade de criar objetos dos seus produtos	Pode redefinir o papel e responsabilidades do arquiteto

BIM 2.0 - Análise

Nesta fase, Dennis Nealey assume várias categorias sob a perspetiva de análise de um projeto sendo essas categorias: Sombreamento; Fluxos de ar e Ventilação; Radiação Térmica; Volume; Acústica; Energia; Iluminação Artificial; Cálculo de Quantidades; Custos; Estrutura.

A correta e extensa inserção de dados sobre um dado objeto, é essencial para um projeto, de modo a que quando esse objeto for adicionado ao projeto seja possível fazer cálculos relativos a qualquer uma das categorias acima mencionada em apenas alguns segundos, por exemplo inserir um candeeiro e o respetivo cálculo do seu consumo energético por metro quadrado.

Dennis Nealey, realça a importância de fazer estudos exaustivos e diversas análises dentro do binómio Conceção/Custos de modo a perceber junto do cliente final de que forma este pretende construir o edifício, racionalizando custos. Pretende-se assim informar o cliente de todas as opções possíveis para a realização de um dado projeto para que este possa tomar a melhor decisão, pois as variações podem ser significativas [25].

Tabela 2 - Resumo da evolução dos aspetos positivos e das preocupações na fase 2.0 [25]

Ano	Aspetos Positivo	Preocupações
2009	Integração com o BIM; Reduz o tempo necessário para análise do projeto	Engenheiros e arquitetos estão apenas agora a começar a usar; Integração em software BIM; Precisão dos resultados
2010	A integração está a melhorar; Maior uso do projeto BIM; IPD (<i>Integrated Project Delivery</i>)	Demora em adotar sem reservas; Redefinição de papeis e responsabilidades dos vários intervenientes

BIM 3.0 - Simulação

O que separa a análise da simulação é a informação em tempo real, ou seja, a visualização simultânea de diversos dados à medida que o projeto vai sendo alterado, pois enquanto a pessoa responsável pela concepção trabalha, vai sendo informada dessas alterações conseguindo assim prever os resultados do seu trabalho em tempo real. Desta forma, várias empresas estão já a trabalhar no sentido de criar múltiplas simulações de ambientes envolventes a um dado edifício que pretendem construir, em tempo real [25].

Tabela 3 - Resumo da evolução dos aspetos positivos e das preocupações na fase 3.0 [25]

Ano	Aspetos Positivo	Preocupações
2009	Nada para mostrar	Nada para mostrar
2010	Uma visão para o futuro; Está agora a tornar-se interessante.	Consome tempo devido às múltiplas simulações possíveis

3.4 BIM em Portugal

Em Portugal este conceito está pouco desenvolvido e ainda é pouco conhecido apesar de alguns gabinetes de projeto realizarem já os seus trabalhos segundo esta metodologia. Também na fase de construção existem já alguns programas-piloto desenvolvidos. Um dos principais desafios encontrados na adopção da metodologia BIM em Portugal é a capacidade de mudar a mentalidade existente no setor.

Como explica Orlando Azevedo na sua tese de mestrado “(...)Se analisarmos a evolução do sector nos últimos trinta anos, em comparação com outros sectores da actividade económica, verifica-se que ainda há muitos trabalhos e serviços que se executam da mesma forma(...)”, e por aí se pode desde logo verificar a enorme resistência existente no meio à implementação de novos conceitos e metodologias [26].

Uma possível explicação pode ter a ver com o facto da cultura nos países latinos ser mais avessa às mudanças do que as culturas nórdicas, como EUA, Finlândia, Noruega e Suécia só para mencionar alguns, pois nestes países são conhecidos diversos casos de sucesso na aplicação das metodologias BIM [26].

É urgente, na opinião de Orlando Azevedo que se registem alguns progressos nesta matéria visto ser um setor de atividade dos que mais impulsiona a economia nacional como aliás se tem verificado nos últimos 30 anos “(...)dados do Sector referentes a 2008 permitem constatar a existência de quase 57 mil empresas registadas no Instituto Nacional da Construção e do Imobiliário (InCI) e de cerca de 554 mil empregados recenseados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) (...)” [26].

Diz também Orlando Azevedo que face à atual crise económica e financeira global, “(...) este Setor revela-se também como um importante instrumento de combate para vencer esta crise(...)”, na medida em que a realização de obras de carácter estruturante contribui significativamente para a manutenção e criação de empregos não só no setor da construção civil mas também noutros setores da economia [26].

O Sector deve apostar no BIM como parte da aposta nas novas tecnologias e no desenvolvimento de novos processos técnicos e organizacionais de forma a combater alguns entraves e algumas fraquezas de que padece o setor, quer sejam a “(...)reduzida dimensão média das empresas nacionais que limitam as possibilidades de sucesso competitivo no mercado internacional(...)” ou até algumas carências na qualificação dos seus recursos humanos. Por todos estes motivos é definitivamente uma boa solução a metodologia BIM como meio de resposta às exigências do mercado global [26].

No passado dia 28 de Novembro de 2012 foram dados alguns passos importantes no sentido de introduzir a metodologia no nosso País através da realização do 1º Workshop Nacional BIM subordinado ao tema “BIM em Portugal: O estado da arte e o futuro” que contou com diversos testemunhos e partilha de experiências bastante alargada, organizado em parceria entre o Grupo de Trabalho BIM PTPC e o BIMFórum Portugal.

Na base da determinação nacional para uma adoção alargada do BIM (*Building Information Modeling*), e segundo a opinião generalizada dos intervenientes, deverá dar-se criação de normas BIM nacionais de modo a uniformizar e regular a sua utilização no nosso País, sendo que a possibilidade de obrigação de adoção desta nova metodologia também foi colocada em cima da mesa, à imagem do que se verifica já noutros países [27].

Os aspetos fundamentais para a otimização da implementação do BIM em Portugal passam não só pelo envolvimento dos vários profissionais do processo construtivo como também pela criação de redes de colaboração onde a informação poderá circular mais eficientemente entre todos, e ainda pela capacidade de interoperabilidade entre sistemas e a standardização de procedimentos. Pelas apresentações efetuadas pelos diversos gabinetes de arquitetura, projeto, consultoria e construção, convidados a relatar as suas experiências ao nível da utilização do BIM, “(...)tornaram-se bastante evidentes as vantagens relativamente à mitigação de erros, possibilidade de antecipação de decisões da melhoria de qualidade, eficiência e de controlo de projeto e, ainda, do seu uso como ferramenta comercial”.

Para António Ruivo Meireles, Coordenador do Grupo de Trabalho BIM, “(...)foi alcançado o objectivo da organização, tendo-se lançado a base para a dinamização do conceito em Portugal.” [27].

3.5 Valor acrescentado do BIM

Como todos os detalhes relativos a uma determinada construção estão centralizados no mesmo lugar e disponíveis a todos os que no projeto trabalham, torna-se mais fácil coordenar as tarefas entre os arquitetos, engenheiros e restantes agentes envolvidos no processo. Com o aumento significativo da capacidade de colaborar e coordenar, reduzem-se as perdas de informação, levando à consequente redução de custos e de tempo necessário à construção de um dado edifício.

Podem dividir-se os benefícios do uso do BIM em dois grupos: Os benefícios diretos e os indiretos. Os primeiros são qualidades como a visualização melhorada e a centralização de toda a informação relativa ao projeto. Os segundos, a necessidade de colaboração e a resultante melhor perceção de todo o projeto por parte de todos os intervenientes. Resumindo, visualização, colaboração e eliminação (risco, desperdício, conflitos) são os três princípios base nos quais assentam os benefícios do BIM[9].

De modo a aprofundar melhor o tema do valor acrescentado do BIM e os benefícios ao nível da eficiência num projeto é necessário ter em conta um estudo em particular realizado pela McGraw Hill Construction: O SmartMarket Report: neste, foi avaliado por meio de diversas entrevistas, tanto com utilizadores como não utilizadores do BIM, quem está neste momento a usar o BIM, que vantagens e potencial vêem na sua utilização.

Deste estudo tiram-se importantes conclusões no caminho para provar o valor acrescentado do BIM. De entre os especialistas, o benefício mais valorizado foi sem dúvida a minimização do trabalho repetido ou redundante. Os arquitetos acreditam que o potencial do BIM para melhorar a produtividade é o melhor caminho para melhorarem o seu *ROI (Return of Investment)*. Por seu lado, os engenheiros entendem que a redução dos conflitos e as possíveis alterações ao projeto durante a construção são a melhor maneira do BIM acrescentar valor a um projeto [28].

Outra forma de perceção do valor do BIM aparece com a experiência, ou seja, quanto mais experiente for o utilizador maiores vantagens e potencial consegue encontrar na utilização desta tecnologia emergente. Segundo o estudo, 87% dos utilizadores experientes consegue ver um ROI positivo contra 38% dos principiantes como se pode ver na (Figura 2). Na mesma figura percebe-se que 1/3 dos principiantes atribui ao BIM um ROI negativo, valor que decresce para menos de 1/5 quando o nível de experiência sobe para moderado. Nos níveis mais avançados de experiência a percentagem de utilizadores que atribui ao BIM um ROI negativo, cai drasticamente para valores entre os 5% e os 8%.

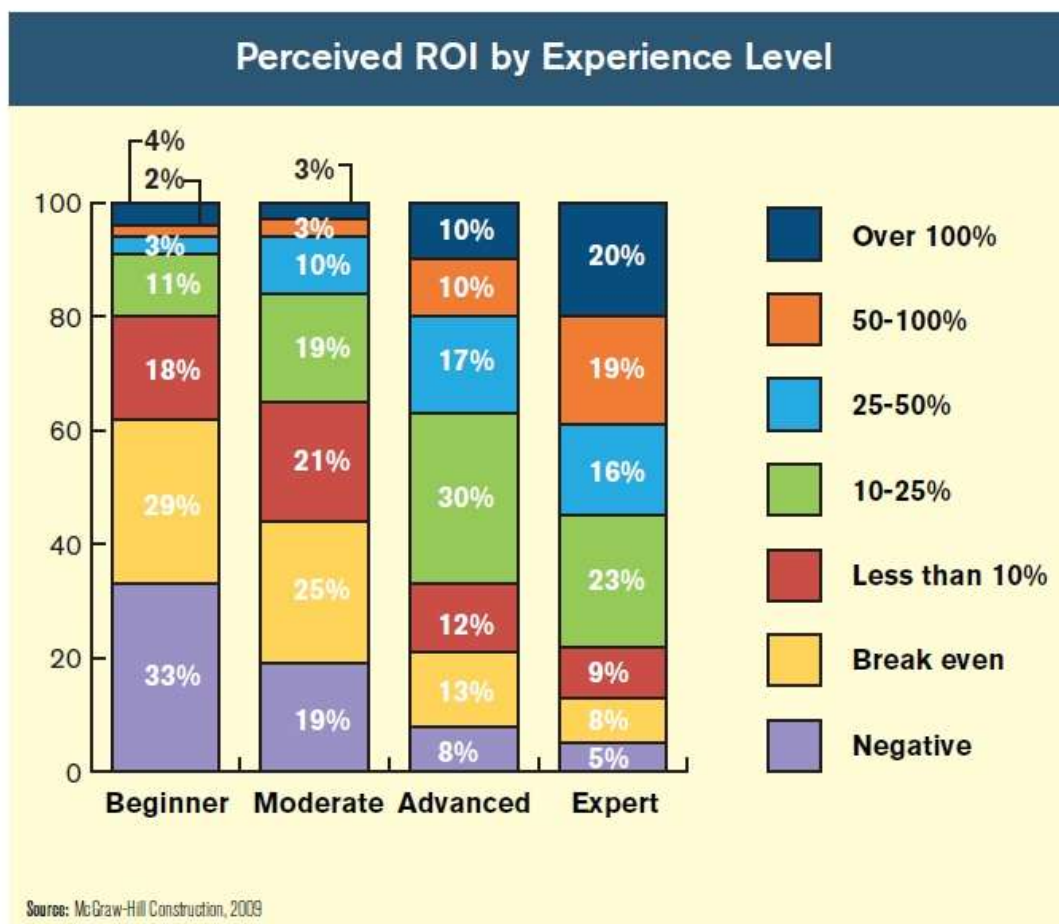


Figura 2 - Retorno do Investimento por nível de experiência com o BIM [28]

Se o critério de seleção de utilizadores for por função que ocupa no projeto, verifica-se que os empreiteiros, 71%, são quem vê maior retorno do investimento, seguidos de muito perto pelos donos de obra com 70%, como se pode ver na (Figura 3). A justificação para estes números elevados pode estar na perceção dos custos minimizados relativamente à não adoção do BIM.

Os arquitetos (58%) não têm o mesmo interesse pelos custos mas sim por outro tipo de vantagens como a coordenação de projeto melhorada, quer seja de esboços ou documentos relativos à obra.

A engenharia ainda está reticente no que diz respeito ao uso do BIM como ferramenta e isso vê-se nos números apresentados, onde 1/3 dos inquiridos revela um ROI negativo (Figura 3). De entre todos os elementos da equipa, os engenheiros são os que vêm menos benefícios em tempo e custos e alegam que o BIM revela falhas em termos de funcionalidades por parte do *software* existente [28].

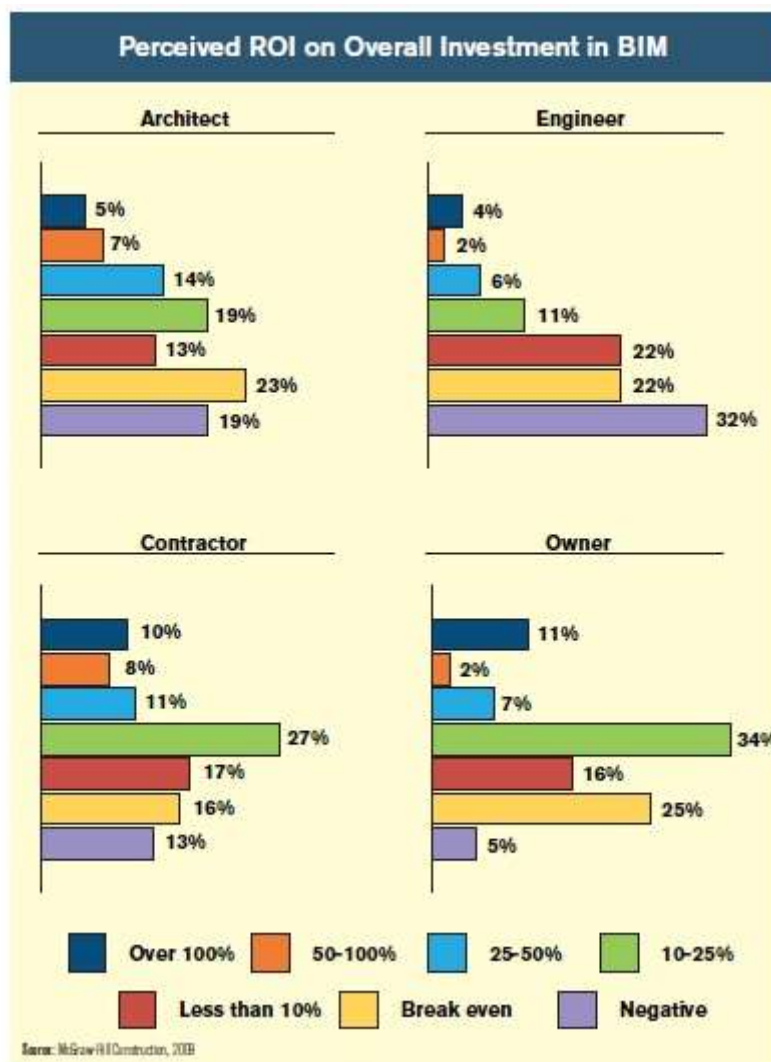


Figura 3 - ROI percebido pelos diversos elementos de uma equipa [28].

Foram reportadas pelos utilizadores diversas áreas onde se julga poder melhorar o desempenho no uso do BIM. Entre elas estará claramente aquela que mais causa motivo de preocupação nos engenheiros, a interoperabilidade entre programas e a necessidade de criar/melhorar funcionalidades dentro de cada programa.

Onde se pensa também conseguir tirar algum proveito das capacidades do BIM é na procura por parte dos donos de obra e no aumento da experiência dos colaboradores nas empresas que oferecem os serviços.

Significado? Se os donos de obra exigirem o BIM, isso cria de imediato a perceção de valor por parte dos utilizadores e repercutir-se-á seguramente no número de seguidores desta tecnologia tanto dentro da empresa como em empresas externas (Figura 4) [28].

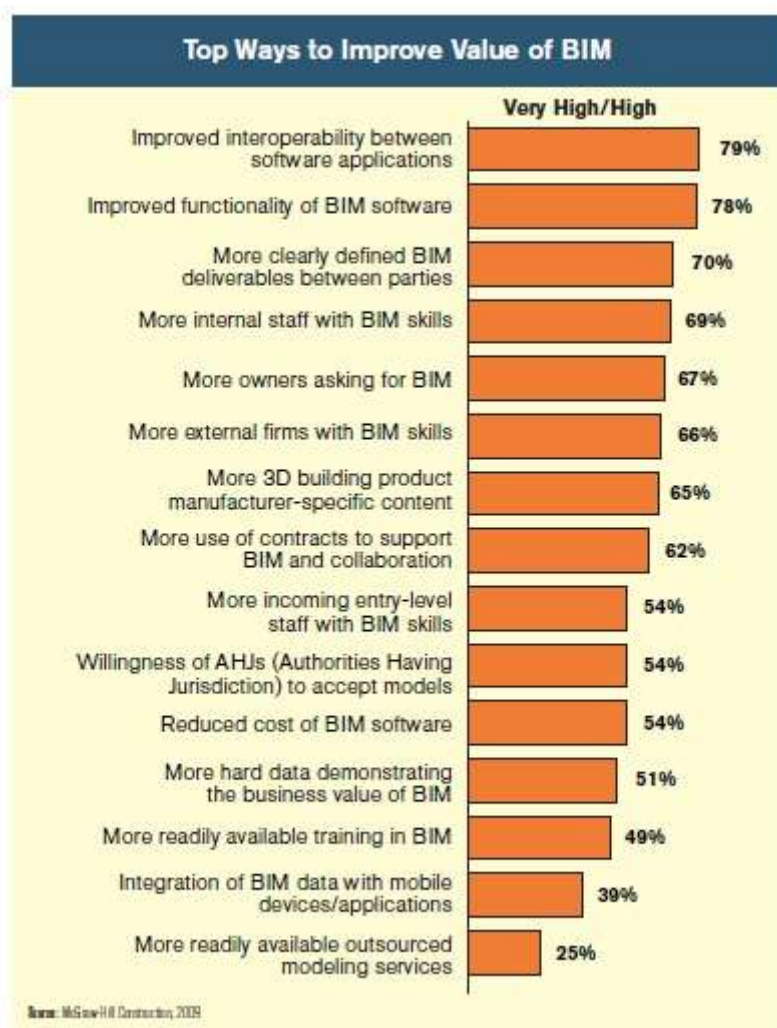


Figura 4 - As melhores formas de melhorar as capacidades do BIM [28].

Na (Figura 4) são reveladas as percentagens relativas aos melhoramentos que os utilizadores pensam ser possível aplicar de modo a que o BIM seja uma ferramenta de trabalho mais

completa e eficiente. No topo, as duas abordadas no parágrafo anterior, Interoperabilidade – 79% e Funcionalidades – 78%, mas também com algum relevo nos produtos 3D disponibilizados pelos fabricantes (65%) e na redução dos custos com o *software* (54%) [28].

Como já abordado anteriormente, os benefícios do BIM estendem-se um pouco por todas as fases de um projeto, desde a concepção até às fases pós-construção como operações de gestão e manutenção.

Com o BIM, os esboços de um projeto são enriquecidos com dados e como tal torna-se uma importante ajuda na comunicação entre as equipas de desenho e de construção. Isso reflete-se na percentagem de utilizadores que valorizam a documentação do projeto (55%) como a categoria onde vêem mais valor de entre todas as fases (Figura 5).

Como se pode ver pela (Figura 5), ao criar modelos cada vez mais detalhados o BIM está a tornar-se cada vez mais notável e reconhecido na sua capacidade de desenho e concepção [28].

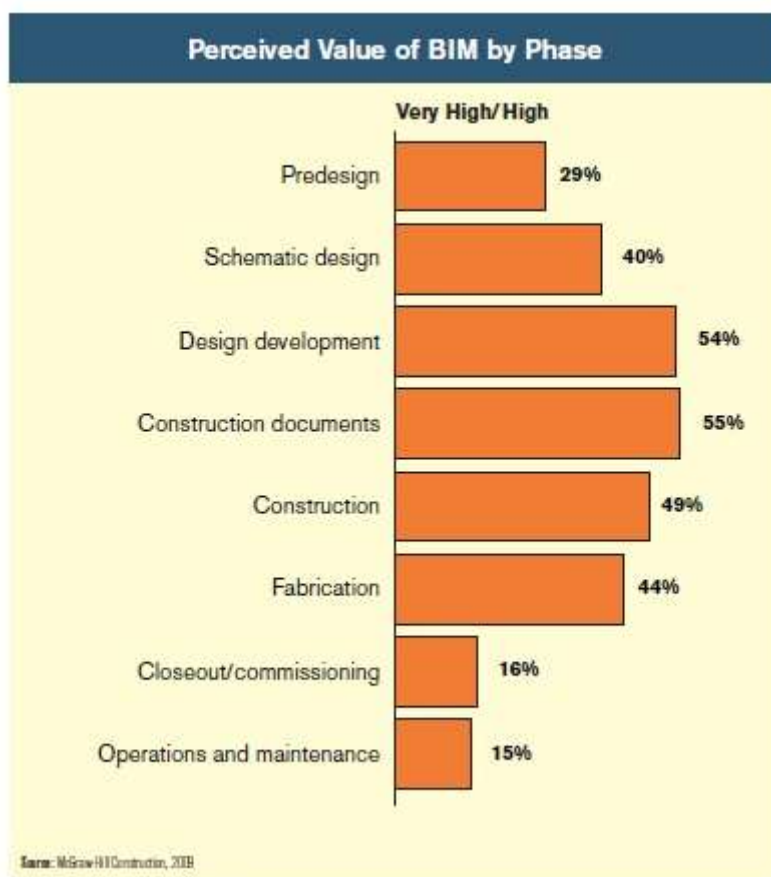


Figura 5 - Valor acrescentado do BIM por fase do projeto [28].

O BIM enfrenta alguns desafios no que concerne à sua adoção. Embora dois em cada cinco não-utilizadores classifiquem esta nova tecnologia como inportante ou muito importante daqui a 5 anos (Figura 6), ainda existem algumas desconfianças.

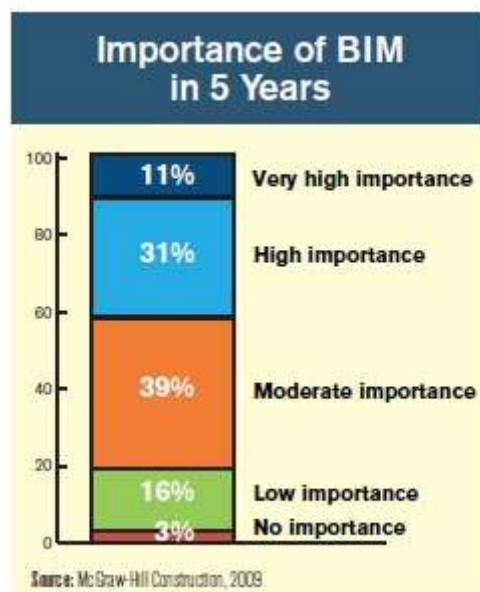


Figura 6 - A importância do BIM daqui a 5 anos [28].

Quase metade dos não utilizadores inquiridos consideram não ter tido ainda tempo suficiente para avaliar o BIM (Figura 7), pois tendo em linha de conta os últimos anos da indústria da construção civil, as empresas têm andado demasiado “ocupadas” com os seus projetos para dispendir tempo a testar novos métodos e não vêem no BIM uma questão importante neste momento.

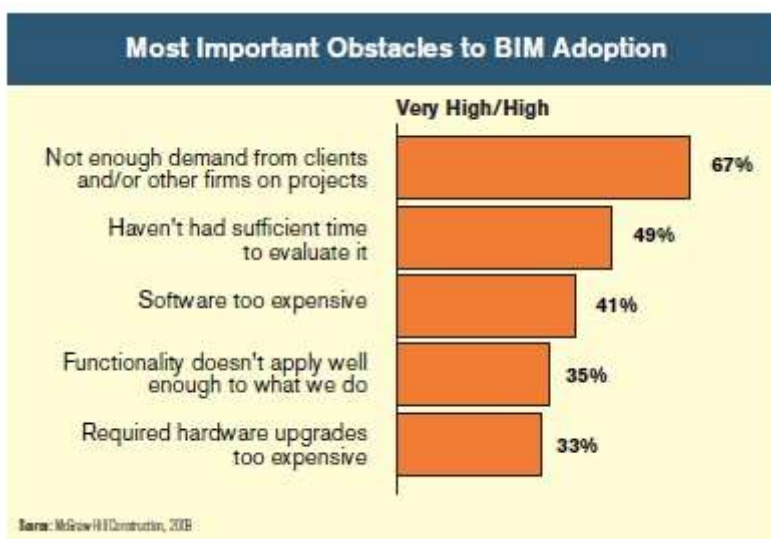


Figura 7 - Obstáculos à adoção do BIM [28].

Já os engenheiros e os arquitetos consideram os *upgrades* de *software/hardware* muito dispendioso. Ainda os engenheiros acreditam que o BIM ainda não está direccionado para a sua área devido às funcionalidades não se aplicarem concretamente ao trabalho desenvolvido pela engenharia.

No fim tudo se resume a dois factores chave: Produtividade e Rentabilidade. Quando chamados a identificar de que forma o BIM está a conseguir reduzir tempo e custos para a sua empresa, 77% de especialistas BIM referem “aumento de produtividade/eficiência” ou outros benefícios relacionados com produtividade. Embora o impacto da rentabilidade usando o BIM ainda não seja significativo comparado com os aspetos de produtividade, acredita-se que o efeito cumulativo de todas as vantagens proporcionadas por esta inovação tecnológica levarão o BIM a percorrer o caminho que lhe está destinado diretamente apontado ao futuro.

3.6 Comparativo entre *software* BIM

Escolher e investir num programa para trabalhar em modelação de objetos não é uma tarefa simples, porque se por um lado esse tipo de aplicações implica esforço e tempo para aprender a dominar a ferramenta; por outro, pode significar um investimento generoso e um compromisso para o futuro já que, na maior parte das vezes, migrar conteúdos entre diferentes aplicativos pode acarretar conversões e consequentes perdas de informação por incompatibilidades, daí que a escolha do software a adquirir é geralmente uma responsabilidade grande onde o erro pode custar muito ao bolso de quem nele investiu [23]. Ficam de seguida algumas considerações e testemunhos sobre as diferentes aplicações CAD e BIM de maior sucesso no mercado.

Autodesk Autocad

Com uma certa prática e com alguns conhecimento básicos sobre este tipo de ferramenta, o Autocad poderá ser considerada uma ferramenta muito interessante, mas da qual se obtém apenas representações isoladas de projetos que podem ser alteradas e corrigidas com alguma facilidade onde o “*ctrl-z*” vem substituir a borracha, os *layers* não são mais do que diferentes folhas de papel vegetal sobrepostas, as cores e espessuras são diferentes tipos de canetas e lápis e comandos como “*dist*” e “*area*” são tão simplesmente uma régua e uma calculadora [23].

Google SketchUp

Esta ferramenta da Google é um modelador 3D de utilização intuitiva e pode ser usado em várias áreas como arquitetura, design, engenharia, entre outros. A utilização do Sketchup é simples, muito atrativa e permite adquirir alguma experiência em modelação de objetos para quem não seja um profissional da área mas pretenda ter um primeiro contacto com ferramentas deste tipo. Atualmente o Sketchup tem uma apresentação mais profissional e permite até a produção de desenhos técnicos mas, em boa verdade, comparativamente com

outras aplicações da especialidade, o Sketchup mais que “parece adolescente rebelde do que um novo Einstein”.

Funciona muito bem para modelação de objectos 3D para a qual tem uma boa relação custo-benefício, já em trabalhos mais completos e exigentes, fica um pouco aquém do esperado e apresenta-se muito limitado, digamos que em matéria de tempo Vs benefício, não compensa. Não obstante, o SketchUp é uma ferramenta interessante e leve, que permite realizar pequenos ensaios de forma rápida e intuitiva [23].

Autodesk Revit

Ao entrar no mundo do BIM tem-se o primeiro da especialidade, o Revit. Este foi adquirido pela Autodesk, a empresa que desenvolve atualmente o líder de mercado das ferramentas 2D, AutoCAD, o Autodesk *Revit* conquistou muitos utilizadores desde logo mas isso, na opinião de muitos, não pode ser visto apenas como mérito do *software*.

Sem querer retirar mérito ao Revit, muitos dos que o usam fazem-no por associação à poderosa marca que é a Autodesk e pela ideia pré-concebida que têm da boa integração com o AutoCAD. Infelizmente essas são razões fracas para se usar um programa, quando passamos do sistema CAD para o sistema BIM. Conceptualmente, imagina-se a total independência do sistema anterior, ou seja, quem utiliza o Revit, não deveria precisar do AutoCAD.

O grande problema do Revit é a sua limitação. Apesar do Revit ter sido o primeiro programa criado de raiz para ser um BIM, foi criado e desenvolvido com a “(...) crença de uma superioridade inexistente. Esse *software* foi desenvolvido pensando que o BIM podia fazer tudo, mas nunca imaginou que para evoluir e chegar ao nível de fazer realmente tudo demoraria mais 12 anos (...)”. Ainda hoje em dia – 2013 – o Revit não faz tudo e “(...) o utilizador que pagou uma licença dispendiosa fica à espera de melhorias (...)”, e até esse momento chegar é necessário recorrer ao antigo AutoCAD para corrigir várias limitações. “(...) temos por exemplo o facto de não ser possível gravar na versão anterior, ou seja, a licença é dispendiosa (...)” e se algum colaborador resolve atualizar o Revit “(...) isso significa ter de atualizar também (...)”, assumindo desta forma os custos extra.

Concluindo, o Revit é um *software* demasiado limitado para o seu preço de custo, acabando por recorrer a outras aplicações – Sketchup ou Autocad - para finalizar os seus trabalhos, e assim acaba por não utilizar com eficiência a tecnologia BIM do Revit, já que nem tudo fica com dados IFC. Vamos ter que esperar mais uns anos até que o Revit seja o BIM “faz tudo”, o verdadeiro BIM [23].

Graphisoft’s Archicad

Principal concorrente do Autodesk Revit, o *software* da Graphisoft – Archicad – parece bastante estável e muito apelativo com o seu Virtual Building Explorer mas, mais uma vez, foi esquecido o essencia na visão do autor deste texto: a representação, o produto final. Algumas pessoas podem não concordar, já que muitos afirmam que a representação do Archicad é uma das melhores que existe no mercado, continua e refere alguns exemplos de dificuldades apresentadas na tentativa de criar um terreno onde a precisão é perdida na utilização da

ferramenta “Mesh”, baseada em triangulação ou seja, “(...) as curvas de nível precisam deixar de ser curvas de nível e passar a ser retas poligonais (...) modelar terreno no Archicad é horrível e impreciso”.

Existe no mercado um *plugin* da Cigraph chamado ArchiTerra que facilita a tarefa mas não resolve totalmente o problema pois o produto continua a não ser um objeto BIM mas antes “um terreno com dados (...) Isso quer dizer que algo tão básico e essencial como criar um terreno e ruas foi esquecido pela Graphisoft ficando a cargo de um *plugin* de terceiros, o qual, para piorar a situação, custa cerca de 1/6 do valor do *software*”.

Para muitos entendidos, a única vantagem que o ArchiCAD tem sobre o Revit é a flexibilidade e a capacidade de trabalhar com 2D sem que seja necessário recorrer ao AutoCAD para corrigir os erros, contudo “(...) o resultado é caro (...) Tal como no Revit, o tão aclamado sistema BIM é perdido já que teria de haver uma mescla de 2D com BIM real”.

Apesar do ArchiCAD oferecer a possibilidade de criar novos objetos com a linguagem GDL, conclui-se que “(...) quantos de nós sabemos realmente programar, ou temos tempo para isso?” [23].

VectorWorks

Este *software*, desenvolvido pela Nemetschek, é tido por muitos especialistas como o que devolve os resultados mais fiéis às necessidades do utilizador.

Apesar do VectorWorks ser rotulado como um BIM falso, “(...) a verdade é que tanto o Revit como o ArchiCAD, apresentam muitas limitações quando pretendemos um *software* com tecnologia BIM”.

Será ou não o VectorWorks um BIM? A resposta na opinião de alguns especialistas é: sim e não “(...) ele não é um *software* que se considere pomposo o suficiente para forçar o utilizador a usar o sistema BIM, ele pode ser um simples CAD ou um simples modelador (sendo assim alternativa ao AutoCAD e ao SketchUp), contudo, ele é o que acredito ser o mais BIM de todos”.

Nesta ferramenta, “(...) um sistema híbrido de CAD e BIM (...) é possível criar qualquer forma e adicionar posteriormente os dados de IFC conforme os padrões internacionais do BIM”. Esta pode ser uma outra definição para o conceito BIM. Os criadores do VectorWorks desenvolveram assim um método de “(...) transformar qualquer coisa em qualquer coisa, removendo assim muitos dos problemas de limitação” [23].

Conclusões

Para trabalhar com o Archicad, seria necessário além do Archicad, também diversos *plugins* da Cigraph, mais o pacote Adobe e ainda um renderizador externo como por exemplo o Artlantis ou o Cinema 4D, além de mais um pacote, o Office.

O processo de trabalho, para um sistema baseado no Archicad, seria algo próximo do seguinte: Primeiro teriam de ser adicionados *plugins* para ferramentas essenciais e que não estão presentes no programa, como o renderizador Lightworks não é suficientemente bom, na opinião de alguns especialistas, então seria necessário acrescentar um melhor. Seguidamente realizar-se-ia o pós-processamento do *render* com o Photoshop, a documentação com o Word, e as apresentações com o Powerpoint.

Ao Revit, para conceber um produto final, teriam de ser adicionados os custos extra do AutoCAD, SketchUp, pacote Office e o pacote Adobe, cujo processo seria em primeiro lugar “(...) acertar pequenos detalhes no CAD, criar novas formas ainda que conceptuais no SketchUp (...)” tratar dos textos e apresentações virtuais no Word e no Powerpoint respetivamente, e finalmente obter o Photoshop de modo a realizar a correta versão final do *render*.

O VectorWorks é a mais barata das três aplicações apresentadas e ainda o mais barato dos três conjuntos, uma vez que todas as ferramentas precisam de actualizações, *plugins* extra, ferramentas adicionais complementares.

Com o Vectorworks, agora na versão 2011, o conjunto seria resumido ao Vectorworks e ao Photoshop pois “(...) O novo render do VectorWorks já é muito bom, como o Revit, não sendo necessário outro como no ArchiCAD.”

O Vectorworks pode produzir qualquer tipo de volume não sendo para isso necessário o recurso ao SketchUp. Na ótica da maior parte dos especialistas “(...) O 2D do VectorWorks já é competitivo com o AutoCAD”, apesar de ser ainda necessário fazer algum pós-processamento do *render*, para o qual seria utilizado o Photoshop, tal como nos restantes casos “(...) nenhum pacote Office seria necessário já que o VectorWorks consegue fazer ótimas apresentações como o Powerpoint, e textos como o Word formatados”

Resumindo, este capítulo mostra a visão de especialistas relativamente às três ferramentas seleccionadas e na sua opinião o Vectorworks além de menos oneroso em todo o seu conjunto, é o mais capaz para produzir os resultados esperados pelo utilizador [23].

Tabela 4 – Quadro comparativo das características do software BIM [24]

Características		ArchicAD 13		Revit Architecture 2010		Vectorworks 2010		Avaliação		
Visão geral		O ArchiCAD 13 continua a tendência de gerar aumentos da produtividade em cada um dos lançamentos. Nesta última versão, importantes requisitos dos utilizadores globais e locais foram cumpridos para melhorar ainda mais o trabalho do ArchiCAD. A impressionante lista de melhorias de produtividade em ArchiCAD 13 inclui suporte 64-bit na plataforma PC, o que, combinado com o apoio multiprocessador faz do ArchiCAD 13, a mais poderosa solução de BIM no espaço arquitetónico.		O Autodesk® Revit® Architecture ajuda a explorar atempadamente os conceitos, a tomar o projecto e a manter de modo mais preciso a sua visão durante todo o projecto, documentação e construção. Faça uma alteração e esta é actualizada automaticamente em todo o projecto. Utilize os dados do Modelo de Informação do Edifício (BIM) que o Autodesk Revit Architecture oferece para suportar o projecto sustentável, detecção de conflitos e interdependências, planeamento da construção e a produção.		Eis o Vectorworks 2010! Você vai notar melhorias significativas, como o ambiente de modelagem 3D unificada, fácil de usar 2D, Dimensional Constraint Manager (DCM) da Siemens PLM, novas funções de arquitectura paisagista, design, entretenimento, novas funcionalidades de renderização e muitas mudanças importantes da usabilidade, todos construídos em cima do núcleo de modelagem Parasolid®.		Notas de 1-3		
Site	www.graphisoft.com	www.autodesk.pt	www.reimetschek.net							
Extensão	.PLN	.RVT	.MCD							
Interface/facilidade de utilização	O interface é simples e flexível, foi desenvolvido durante 20 anos através do feedback dos arquitetos.	Agora com a obrigatoriedade do Ribbon UI é acessível e concentra melhor as suas opções é fácil de aprender para quem está a começar, mas quem utilizava versões anteriores pode demorar a habituar-se.	Embora mantenha um look arrumado penso que dos 3 seja o mais difícil de aprender.	3	2	1				
Importar/Exportar	DXF, DWG, DWF, SKP, AVI, BMP, JPG, TGA, TIFF Integração com o Google Sketchup	DXF, DWG, DWF, SKP, AVI, BMP, JPG, TGA, TIFF	DXF, DWG, DWF, SKP, AVI, BMP, JPG, TGA, TIFF Integração com o Google Sketchup	2	2	2				
Integração no mercado de trabalho	O Archicad é possivelmente o mais utilizado a nível profissional e escolar, em Portugal, pelo seu preço bastante competitivo e boa qualidade	O Revit terá mais força na medida em que é bastante usado a nível internacional, visto tratar-se de um produto Autodesk	O Vectorworks embora seja o menos utilizado continua a ser uma boa ferramenta que também tem um preço mais razoável neste âmbito	2	3	1				
Apresentação 2D	A apresentação 2D consegue ser facilmente tratada com as melhorias nesta versão.	A visualização e impressão são facilitadas pelo facto de aquilo que vemos no ecrã é o que sai na plotter. Embora por vezes haja problemas na escala dos detalhes.	Uma das forças do Vectorworks é a sua apresentação 2D que consegue competir particularmente bem com o AutoCAD	2	2	3				
Apresentação 3D	Melhorias ao nível do motor de renderização, boa integração com o Artlantis	Excelente renderização 3D dentro do programa com o Raytrace, e boa integração com o 3DS Max.	Bom motor 3D, ao nível do ArchiCAD	2	3	2				
Modelação	Boas opções de modelação 3D, Objectos totalmente paramétricos	Excelentes opções de modelação 3D, incluindo modelação por NURBS. Integração de bastantes informações paramétricas.	Modelação 3D razoável, ganha pontos no número de ferramentas dedicadas a cada situação seja arquitectura ou modelação de terreno.	2	3	2				
Bibliotecas de blocos	Tem uma biblioteca bastante razoável	A maior biblioteca de componentes reside no Revit e no AutoCAD	Bastante limitada	2	3	1				
Layouts	Layouts de fácil organização e criação	Layouts são por vezes difíceis de conseguir organizar, talvez fosse mais fácil se seguisse os layouts de AutoCAD	Layouts bastante simples de criar	2	1	2				
Sustentabilidade/BIM	As opções paramétricas avançadas e de bases de dados de materiais permitem estimar não só os gastos a níveis de materiais mas ainda prever os gastos energéticos do edifício	Assim como o ArchiCAD tem várias opções de controlo da sustentabilidade, mas falta integração de várias opções que vem em pacotes Autodesk separados, como a avaliação energética, luminosa, etc.	Mais uma vez o VW perde, ainda que tenha algumas opções bastante boas.	2	2	1				
Hardware	Agora com suporte 64 bits suporta mais do que 4GB de RAM, torna mais fácil a sua utilização.	Dos 3 parece ser o que corre melhor com ficheiros mais pesados.	Bastante leve mesmo com elevado grau de informação nos modelos 3D. Ainda não faz uso do ambiente 64 bits embora seja compatível.	2	3	1				
Assistência Técnica	Sendo a representação da marca fraca em Portugal, não se pode esperar grande suporte técnico	Dos 3 tem a melhor assistência técnica, afinal de contas é um produto Autodesk que tem maior representatividade em Portugal	Tem a pior assistência dos 3	2	3	1				
Preço Aproximado	3000€	3650€	1700€	2	1	3				

Pela informação presente na (Tabela 4) constata-se que para Uriel Pereira, o autor do estudo, o Revit superioriza-se aos demais nas categorias de Integração no Mercado de Trabalho pois sendo um produto da Autodesk terá mais popularidade a nível internacional. Também nas apresentações 3D o Revit é melhor graças à excelente renderização tanto dentro do próprio programa (Raytrace) como na integração com *software* exterior (3DS Max). Devido às excelentes opções de modelação 3D, incluindo modelação por NURBS (Non Uniform Radial BSplines) e à capacidade de integração de bastantes informações paramétricas tornam o Revit a escolha acertada no que diz respeito à categoria Modelação. Também a sua Biblioteca de Blocos merece referência como uma das melhores do estudo. Relativamente ao Hardware, para além de suportar 64bits, também é a ferramenta mais ágil para trabalhar com ficheiros mais pesados. A Assistência Técnica é a melhor dos três pois é o produto com mais representatividade em Portugal.

O ArchiCAD, por seu turno, destaca-se dos outros na categoria de Interface/Facilidade de Utilização fruto da sua simplicidade e flexibilidade desenvolvida à custa do *feedback* de arquitetos ao longo de vinte anos.

O Vectorworks revela-se o mais forte dos três nas apresentações 2D, onde “consegue competir particularmente bem” com o AutoCAD e no custo, onde acarreta sensivelmente metade dos custos dos outros dois concorrentes neste estudo.

De realçar ainda que nas categorias de Sustentabilidade/BIM e Importar/Exportar nenhuma das ferramentas conseguiu ter nota máxima, a primeira fruto da falta de integração de várias opções que apenas se conseguem obter adquirindo pacotes separados, como por exemplo a avaliação energética e luminosidade e a segunda que revela o muito trabalho que ainda há a fazer no que respeita à ligação entre o mundo virtual, aqui representado pelos modelos BIM 3D e o mundo real.

3.7 Energy Efficient Building Information Modeling (eeBIM)

Sustentabilidade ou “construção verde” são expressões muito utilizadas na arquitetura contemporânea. As razões vão desde ir ao encontro dos objetivos energéticos, gestão do aumento do custo dos combustíveis, redução do desperdício ou o desejo de autossuficiência, cada vez mais pessoas pensam nestas questões [11].

A pergunta que se impõe será talvez como pode o BIM ajudar a construir melhores edifícios (mais sustentáveis)? Um arquiteto pode usar os modelos BIM para poupar recursos (tempo, dinheiro, etc..) aos proprietários dos projetos, introduzindo estudos analíticos na primeira fase de conceção. Tanto arquitetos como engenheiros podem colaborar para gerar vários conceitos alternativos relativamente à forma, conteúdo e paisagem envolvente de um edifício. Isto contribui para que se concentrem em minimizar os picos de energia, procura e consumo energético [11].

Tipicamente, reduzindo as necessidades de aquecimento e arrefecimento através de sombreados, melhores janelas e isolamento, iluminação eficiente, aproveitamento da luz solar e sistemas solares passivos e ativos, contribuem para equipamentos HVAC menos potentes e menos dispendiosos, que bem dimensionados pode resultar em pouco ou quase nenhum aumento do custo de construção comparado com os edifícios que não possuam estes sistemas eficientes [11].

Numa altura em que o uso eficiente de recursos é crítico para a sobrevivência da indústria da construção e potencialmente para a própria sobrevivência das comunidades humanas, faz sentido olhar para a forma como se constroem edifícios eficientes. A tecnologia existe e à medida que a procura de maior sustentabilidade energética aumenta, a expansão de ferramentas de análise também aumentará de forma a tirar maior partido das capacidades do BIM [11].

3.8 Análise Energética

O consumo de energia é um dos maiores contribuidores para a poluição do ar dos edifícios e custos de manutenção [11]. Foram desenvolvidas ferramentas que trabalham conjuntamente com o BIM e que geram relatórios energéticos ainda na fase de desenho de modo a que o arquiteto tenha a oportunidade de influenciar a eficiência de um projeto.

Vantagens do uso do eeBIM:

- i. Estudos de incidência solar – realizar estudos solares, ou seja estudos sobre a exposição solar e respetivo sombreamento num dado edificio, que ajudam o arquiteto a avaliar e refinar o seu projeto de acordo com as fontes de luz disponíveis.
- ii. Controlo contínuo do uso dos recursos – grandes quantidades de dados detalhados acerca dos componentes do edifício podem ser gerados, providenciando ao arquiteto e ao proprietário valiosa informação acerca dos materiais usados.
- iii. Cenários *what-if* para otimização da construção – a capacidade para testar diversos cenários ajuda à otimização de processos.
- iv. Simulações energéticas – as simulações são usadas para refinar os desenhos e garantir que a conservação de energia e os custos atingem os objetivos propostos e para demonstrar que as normas regulatórias são cumpridas.

Existem dois tipos de programas de análise energética para edifícios: estáticos e dinâmicos. Os primeiros usam valores extremos de temperatura para cálculos de desempenho usando equações padrão. Nesse caso apenas validam os dados dos edifícios para determinadas alturas do ano, tirando depois conclusões sobre o desempenho energético anual com base nesta informação limitada e válida apenas para condições locais. Os segundos expõem modelos simplificados dos edifícios a uma realidade climática virtual (gerada a partir de dados

meteorológicos certificados medidos na proximidade do edifício) a cada hora e durante todo o ano [12].

A simulação energética realista torna-se possível usando dados da geometria do modelo do edifício e informação complementar relevante adicionada pelo utilizador sobre os materiais utilizados na construção do edifício, sua localização, função do edifício e parâmetros MEP (mecânica, eletricidade, canalização) [12] (Figura 8).

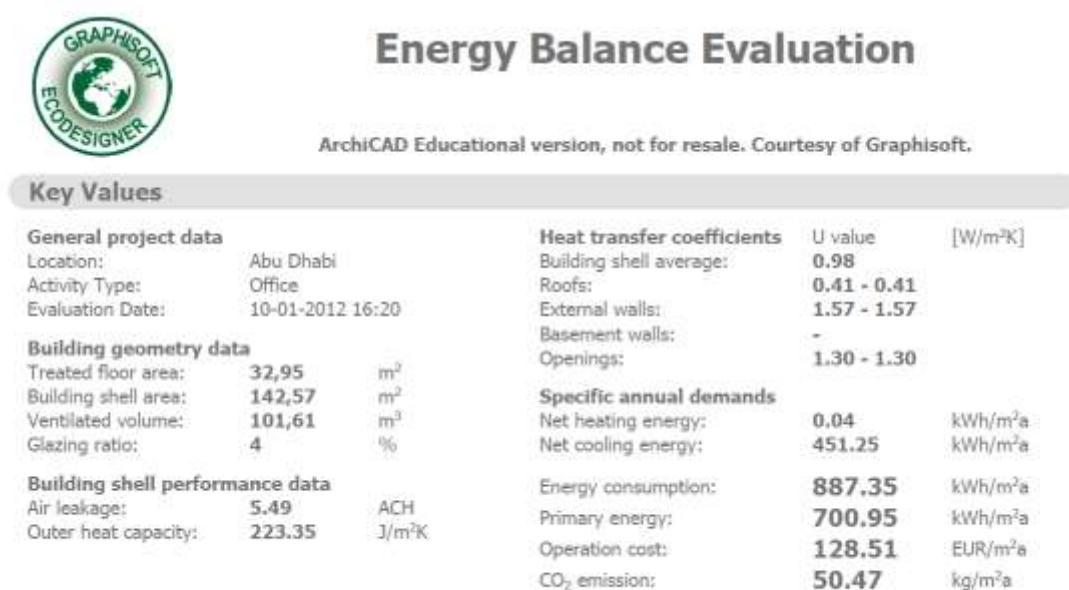


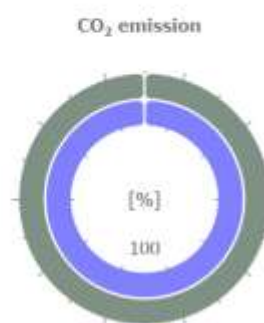
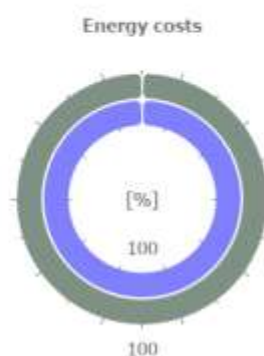
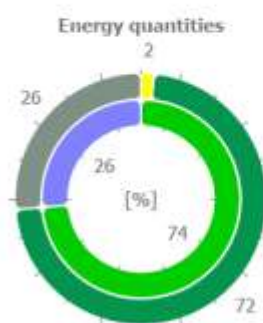
Figura 8 - Exemplo de uma simulação energética para um edifício de escritórios em Abu Dhabi, com valores para a geometria do edifício e as necessidades energéticas do mesmo [19].

Pese embora atualmente não haver um padrão uniforme internacional que aceite os resultados produzidos mesmo pelo mais sofisticado programa de análise energética dinâmico, a tendência atual de uniformização indica que está a aumentar a confiança que as entidades regulamentadoras depositam nas análises dinâmicas pois permitem assim uma avaliação e comparação global do desempenho energético dos edifícios em oposição a soluções locais [12].

A maioria das aplicações de análise energética é capaz de realizar cálculos para além do alcance da simples avaliação de balanços energéticos. Alguns programas são capazes de calcular a pegada ecológica (estimativas de emissões de carbono (Figura 9) ao longo do ciclo de vida de um edifício), análises de ciclo de vida, custos com consumos energéticos (Figura 9) (Figura 10) ou mesmo estimativas do custo do edifício em todo o seu tempo de vida, se as fontes e rácios de energia forem introduzidos pelo utilizador [12].

Energy Consumption by Sources

Source type	Source name	Energy		CO ₂ emission
		Quantity	Cost	
		kWh/a	EUR/a	kg/a
Renewable	Solar collector	494		0
	Exhaust air	27		0
	Environment	21015		0
Secondary	Electricity	7698	4233	1662
Sum:		29235	4233	1662*



* This amount of CO₂ is absorbed in one year by 62 developed pine trees.

Figura 9 - Exemplo de uma simulação energética com os valores da energia consumida, os custos dessa energia e as emissões de CO₂ resultantes[19].

Energy Balance Evaluation

ArchICAD Educational version, not for resale. Courtesy of Graphisoft.

Energy Consumption by Targets

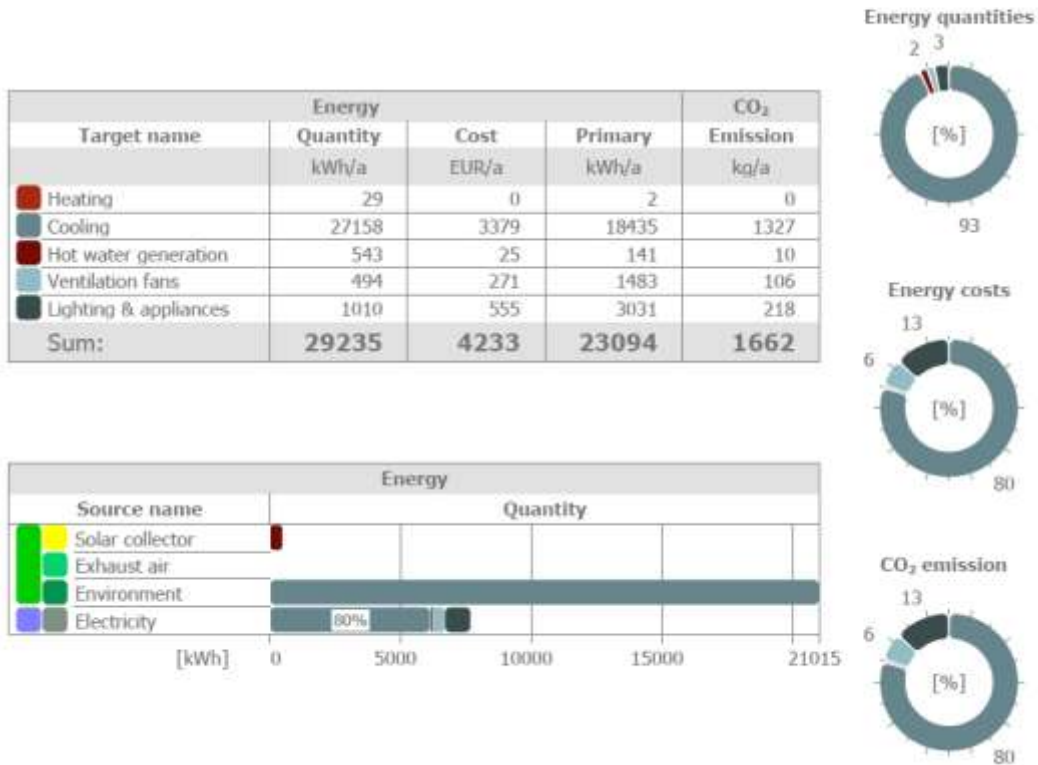
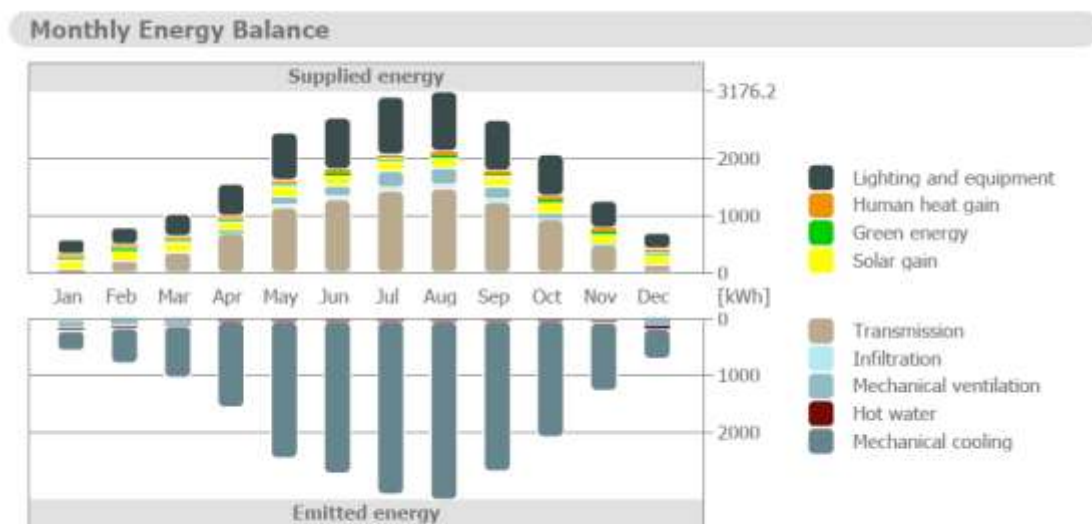


Figura 10 - Quantidades de energia consumida por atividade[19]

Ao contrário de outras vertentes de concepção do projeto (estruturais, MEP), os especialistas em energia produzem documentação escrita que não modifica o modelo BIM. Os resultados da análise energética são tipicamente em formato de texto, enriquecido com tabelas, gráficos e diagramas que mostram o desempenho elementar e envolvente do edifício, consumos energéticos, vista geral do equilíbrio energético (Figura 11), falhas e parâmetros de sistemas HVAC [12].



Page 2 of 2

Figura 11 – Balanço energético mensal para o mesmo edifício em Abu Dhabi [19].

Capítulo 4.

Interoperabilidade

4.1 Modelos de Interoperabilidade

A interoperabilidade é definida como a capacidade que os sistemas possuem de comunicar entre eles de forma transparente e eficaz. Sendo o BIM utilizado por diversos agentes de variadíssimos ramos de atividade, a interoperabilidade torna-se fundamental no sentido de agregar todas as capacidades inerentes à realização de um dado projeto [13].

A interoperabilidade entre várias aplicações de programas informáticos pode ser conseguida de três maneiras fundamentais, entre outras: usando programas que leem diretamente o formato do ficheiro proprietário contido no programa do BIM ou utilizando programas que incorporem uma API (*Application Programming Interface*), fornecendo uma interface bem desenvolvida entre os vários programas informáticos ou então ainda usando programas que suportem um padrão de transferência de dados aceite pela indústria [13].

Apesar de existirem várias firmas que estão a apostar na criação dos seus próprios APIs, esta solução é dispendiosa e morosa pelo que não está ao alcance de todas as empresas [13]. É por este motivo que ao longo desta tese irão ser discutidos quais os padrões de transferência e partilha de dados mais relevantes para a indústria.

4.1.1 Impedimentos à interoperabilidade

Dependendo do programa escolhido, as migrações do modelo podem ser mais bem sucedidas quando o modelo é iniciado no programa BIM ou no programa de A&D (*Analysis and Design*). Para que esta migração seja feita com sucesso é necessário prestar atenção a alguns pormenores. Um dos principais desafios prende-se com a perda ou inexatidão da informação devido às sucessivas migrações BIM->A&D e A&D->BIM ao longo do tempo. Outro potencial problema poderá ser a compatibilidade entre versões, particularmente quando a ligação se faz através de API's pois a nova versão do programa de A&D pode não ser compatível com a antiga versão do programa BIM [13].

Ainda sobre a compatibilidade interessa acrescentar que os múltiplos colaboradores podem não ter o seu *software* atualizado e como tal não serão capazes de ler os dados criados nas novas versões. Uma possível solução será todos os colaboradores usarem a mesma versão do *software* durante todo o projeto [13].

Resolvidas as questões da compatibilidade, coloca-se a questão talvez mais complicada que é o armazenamento de toda a informação contida no BIM, pois afigura-se complexo o acesso por parte das próximas gerações à base de dados que o BIM foi incrementando ao longo de todo

um projeto [13]. Para dar resposta a estas e outras questões foram desenvolvidas duas infraestruturas de dados e que são as prevalecentes atualmente na indústria AEC (*Architecture, Engeneering and Construction*), o IFC (*Industry Foundation Class*) e o gbXML (*green building XML*), ambos formatos usados para troca de dados entre aplicações da AEC como o CAD e várias ferramentas de simulação de edifícios [13].

4.1.2 gbXML (*green building XML*)

Estudos indicam que nos E.U.A apenas, são desperdiçados \$16B (cerca de 13 mil milhões de euros) todos os anos devido a uma integração de *software* deficiente e ao seu impacto na construção de edifícios [16]. Consequentemente, esta fraca interoperabilidade resulta em sistemas HVAC e de controlo que não estão dimensionados com os propósitos de engenharia do edifício. Através de *standards* como o gbXML, a indústria consegue alavancar as aplicações existentes de modo a gerar ganhos de interoperabilidade que resultam em redução de custos financeiros e ambientais [16].

O gbXML ou *green building XML* foi desenvolvido para facilitar um modelo de interoperabilidade comum integrando uma miríade de ferramentas de desenho e desenvolvimento usadas na indústria da construção civil. Tem vindo aos poucos a ser integrado em vários programas de CAD e ferramentas de engenharia. Este padrão de interoperabilidade reduz o tempo de construção de um edifício e assegura que quando o edifício entra em funcionamento, vai ao encontro do que estava inicialmente planeado [14].

Usa a linguagem XML (*eXtensible Markup Language*), que é um tipo de linguagem de computação que permite aos programas informáticos comunicar com pouca ou nenhuma interação humana [14], pois cria um conjunto de regras que facilita a codificação de documentos em formatos cuja leitura seja possível tanto por pessoas como por máquinas [15].

4.1.3 IFC (*Industry Foundation Classes*)

O modelo de dados *Industry Foundation Classes* é um modelo que descreve uma estrutura de dados, para a indústria da construção civil, baseada em objetos e o seu modelo de dados foi desenvolvido pela buildingSMART (IAI – *International Alliance for Interoperability*) de modo a facilitar a interoperabilidade na indústria da construção civil e é um formato vulgarmente utilizado em *Building Information Modeling* [17].

Sendo *open-source* não é controlado por um único vendedor ou grupo de vendedores, logo é um modelo aberto e disponível a todos. Está registado em ISO como ISO/PAS 16739 e está em vias de se tornar o *standard* oficial internacional ISO 16739. Alguns países do norte da Europa estão a impulsionar o uso deste *standard* devido à interoperabilidade entre os vários *software* e também entre *software* e o BIM [17].

Especificações IFC/ifcXML:

- IFC2x4 release (publicly announced as IFC4) (Release Candidate 3 as of 17 October 2011)
- ifcXML2x3 (June 2007)
- IFC2x3 (February 2006)
- ifcXML2 for IFC2x2 add1 (RC2)
- IFC2x2 Addendum 1 (July 2004)
- ifcXML2 for IFC2x2 (RC1)
- IFC 2x2
- IFC 2x Addendum 1
- ifcXML1 for IFC2x and IFC2x Addendum 1
- IFC 2x
- IFC 2.0
- IFC 1.5.1
- IFC 1.5

A especificação IFC utilizada ao longo desta tese de mestrado será o IFC2x3 que, não sendo a mais recente, essa será o IFC2x4, é a que melhor se enquadra nos objetivos propostos de interoperabilidade com as duas ferramentas BIM usadas e acima mencionadas, o ArchiCAD e o Revit Architecture.

Formatos de ficheiro:

- IFC-SPF – é um formato de texto definido ISO 10303-21 ("STEP-File"), onde cada linha consiste tipicamente num registo único, tendo a extensão ".ifc". É o formato IFC mais usado, tendo a vantagem do tamanho reduzido e fácil leitura.
- IFC-XML – é um formato XML definido pelo ISO 10303-28 ("STEP-XML"), tendo a extensão ".ifcXML". Este formato é adequado para a interoperabilidade com ferramentas XML e troca de modelos parciais de edifícios. Devido à grande dimensão dos modelos típicos, este formato é menos comum.
- IFC-ZIP é um formato de compressão ZIP consistindo num ficheiro IFC-SPF embebido, com a extensão ".ifcZIP" [17].

4.1.4 gbXML vs. IFC

O IFC adota uma abordagem mais genérica na representação de um projeto de um edifício. Cobre um domínio mais abrangente desde a construção de um edifício até à sua operação/manutenção. O gbXML apenas opera no domínio das simulações energéticas, no entanto tem a capacidade de "carregar consigo" informação sensorial relativa ao ambiente de um edifício [18].

Em termos de geometria, a abordagem mais genérica do IFC tem a capacidade de representar qualquer forma da geometria do edifício, ao passo que o gbXML apenas aceita formatos retangulares, suficientes para a simulação energética [18].

Enquanto o IFC usa uma abordagem “*top-down*” e relacional o que resulta em esquemas de representação de dados mais complexos e ficheiros de dados de dimensões consideráveis, o gbXML usa uma abordagem menos complexa, “*bottom-up*” que permite uma maior flexibilidade e facilidade de uso derivado da sua simplicidade [18].

Resumindo, o formato IFC ganha em organização devido à sua estrutura de dados bem desenvolvida e rica em detalhes, em oposição ao formato gbXML que tem como principal benefício a simplicidade de uso o que permite uma maior rapidez de implementação. Desta forma consegue-se reduzir tempo e esforço na preparação de qualquer simulação. Além disso, reutiliza a informação das simulações energéticas anteriores e partilha bibliotecas com outras aplicações [18]. Será o IFC o escolhido para desenvolver o modelo computacional doravante, pois permitirá ter uma visão mais completa e detalhada de todo o processo de partilha de dados com os modelos BIM.

4.2 Multi-Model Views

Idealmente cada domínio, ou especialidade, necessita da sua própria perspetiva do BIM. Tais perspetivas são subsecções do BIM completo, mas focado nos requisitos próprios dum certo domínio. Como o BIM é utilizado com diferentes ferramentas e de diferentes formas, essas ferramentas têm de ser adaptáveis a cada utilizador falando na mesma “língua” que este.

Na área da eletrotecnia não é necessário usar o modelo IFC completo, apenas alguns elementos interessam para a realização dos estudos energéticos ou quaisquer outros pretendidos. No caso específico do engenheiro eletrotécnico poderão interessar duas, ou mesmo três perspetivas: Controlo, Elementos Elétricos e equipamento HVAC.

4.2.1 Controlo (*IfcBuildingControlsDomain*)

(*IfcFlowInstrument*, *IfcActuator*, *IfcController*, *IfcSensor*, *IfcAlarm*, *IfcUnitaryControlElement*)

O esquema *IfcBuildingControlsDomain* integra o modelo IFC e define os conceitos de automação, controlo, instrumentação e alarmes dentro dos edifícios [17]. É a perspetiva que organiza dispositivos como sensores, atuadores ou controladores.

Como se verifica pela (Figura 12), para cada conceito existe uma correspondência de tipo, ou seja, o *Actuator* existe emparelhado com o *ActuatorType*, o *Sensor* com o *SensorType* e o *Controller* com o *ControllerType*, só para mencionar alguns.

Para cada um dos três domínios aqui revelados será escolhida uma entidade para explicar com maior detalhe visto que seria bastante extenso e moroso detalhar cada uma das entidades de cada domínio.

A entidade escolhida do *IfcBuildingControlsDomain* foi o Atuador, que segundo a definição da IAI (*International Alliance for Interoperability*), é um dispositivo mecânico usado para mover ou controlar um mecanismo ou sistema. Necessita de energia, normalmente criada por ar, eletricidade ou líquido e convertendo-a em movimento.

O *IfcActuator* define a ocorrência de qualquer atuador ao passo que o *IfcActuatorType* trata da informação relativa ao atuador como o seu nome, uso, propriedades, materiais, portas, composição ou representações. Como é visível na (Figura 12) o *IfcActuatorTypeEnum*, enumera, através de tipos pré-definidos (*Predefined Type*) o leque de diferentes tipos de atuador que é possível especificar como os seguintes: ELECTRICACTUATOR, HANDOPERATEDACTUATOR, HYDRAULICACTUATOR, PNEUMATICACTUATOR, THERMOSTATICACTUATOR, USERDEFINED, NOTDEFINED [17].

A configuração do conjunto de propriedades para cada um dos dispositivos é extensa e será abordada sucintamente no próximo subcapítulo *Definição de Propriedades* (4.3).

Para os restantes pares a lógica é a mesma com a coluna da direita (Figura 12) a definir as ocorrências de cada um desses dispositivos e a da esquerda a tratar da sua respetiva informação. As especificações em linguagem EXPRESS de cada uma destas entidades estão descritas na secção de Anexos.

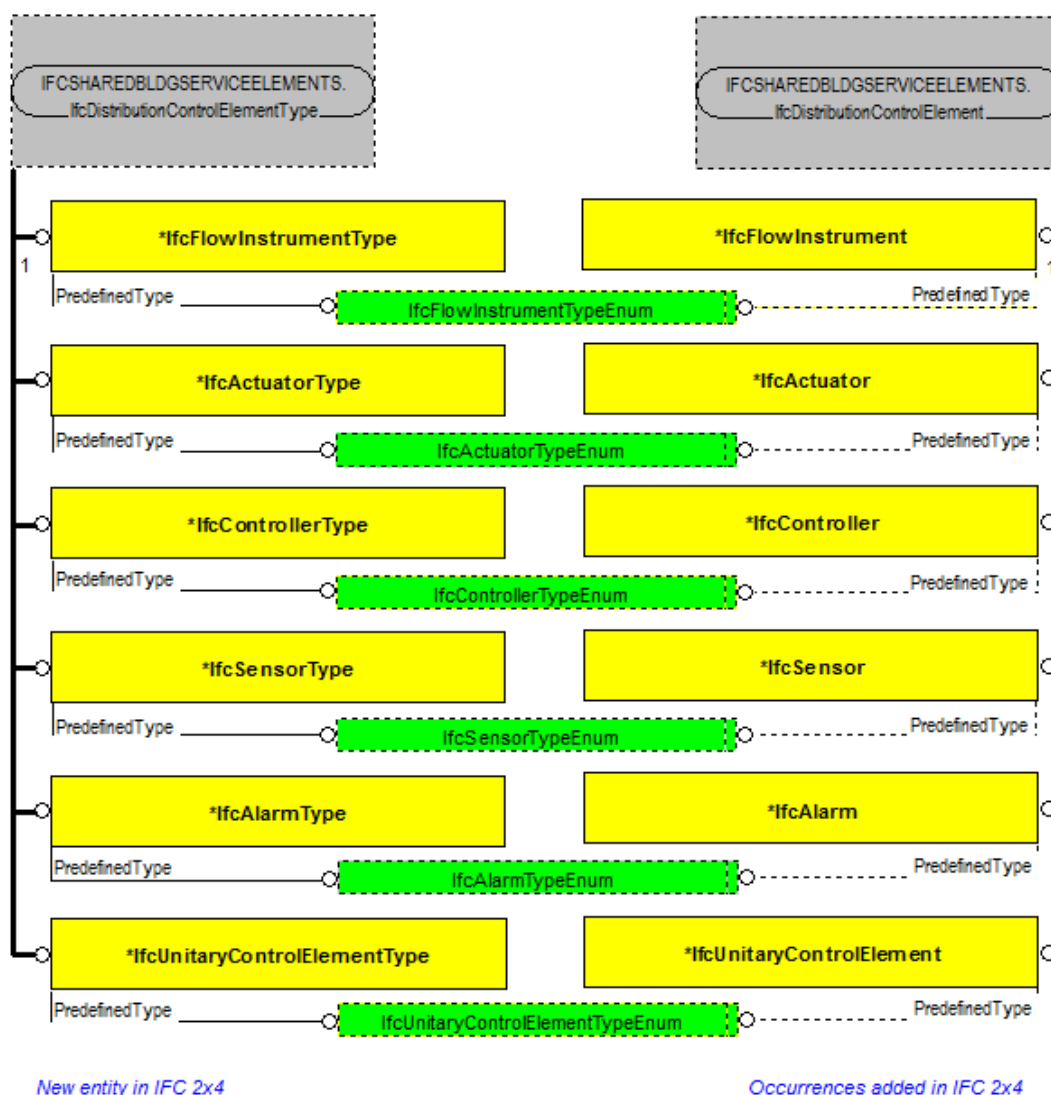


Figura 12 – Arquitetura do *IfcBuildingControlsDomain* [17].

4.2.2 Elementos Elétricos (*IfcElectricalDomain*)

(*IfcTransformer*, *IfcElectricGenerator*, *IfcElectricMotor*, *IfcMotorConection*, *IfcSolarDevice*)

Este domínio é uma extensão de ideias relacionadas com os *building services* sublinhados no *IfcSharedBldgServicesElements* e define conceitos de fornecimento e distribuição de energia elétrica bem como de iluminação dentro dos edifícios.

À semelhança da (Figura 12) no subcapítulo (4.2.1), também na (Figura 13) se encontram emparelhados os diferentes tipos de entidades que fazem parte de um sub-grupo pertencente aos *IfcEnergyConversionDevices* nas quais se inclui o Transformador cuja definição pelo IAI é a de um dispositivo estacionário indutivo que transfere energia elétrica de um circuito para outro. O seu par, *IfcTransformerType*, estabelece o nome, uso, propriedades e outros como visto no subcapítulo anterior (4.2.1). O *IfcTransformerTypeEnum* enumera os tipos de

transformador possíveis de especificar como os que se seguem: CURRENT, FREQUENCY, INVERTER, RECTIFIER, VOLTAGE, USERDEFINED, NOTDEFINED [17].

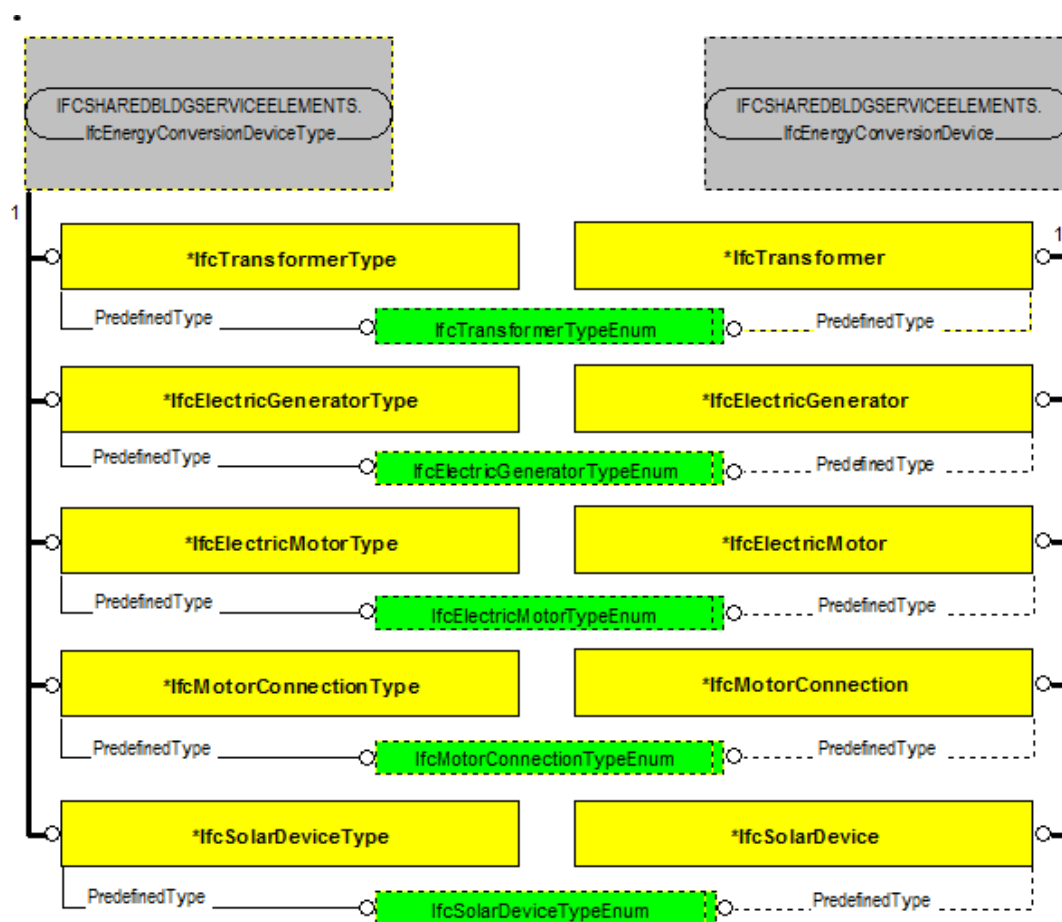


Figura 13 - Arquitetura do *IfcElectricalDomain* [17].

4.2.3 HVAC (*IfcHvacDomain*)

(*IfcAirToAirHeatRecovery*, *IfcBoiler*, *IfcBurner*, *IfcChiller*, *IfcCoil*, *IfcCondenser*, *IfcCooledBeam*, *IfcCoolingTower*, *IfcEvaporativeCooler*, *IfcEvaporator*, *IfcHeatExchanger*, *IfcHumidifier*, *IfcTubeBundle*, *IfcUnitaryEquipment*, *IfcEngine*). (Figura 14)

Este domínio define conceitos básicos requeridos ao nível da interoperabilidade no que diz respeito ao aquecimento, ventilação e ar condicionado de que fazem parte os sistemas de distribuição como condutas e tubos para ar condicionado, ventilação e exaustores. Contempla também equipamentos normalmente utilizados nos serviços de manutenção de edifícios como *boilers*, *chillers*, *fans and pumps* e respetivos isolamentos.

Tal como no domínio anterior também o *IfcHvacDomain* é um sub-grupo dos *IfcEnergyConversionDevices* de onde se retira o *IfcBurner* que por definição da IAI se trata de

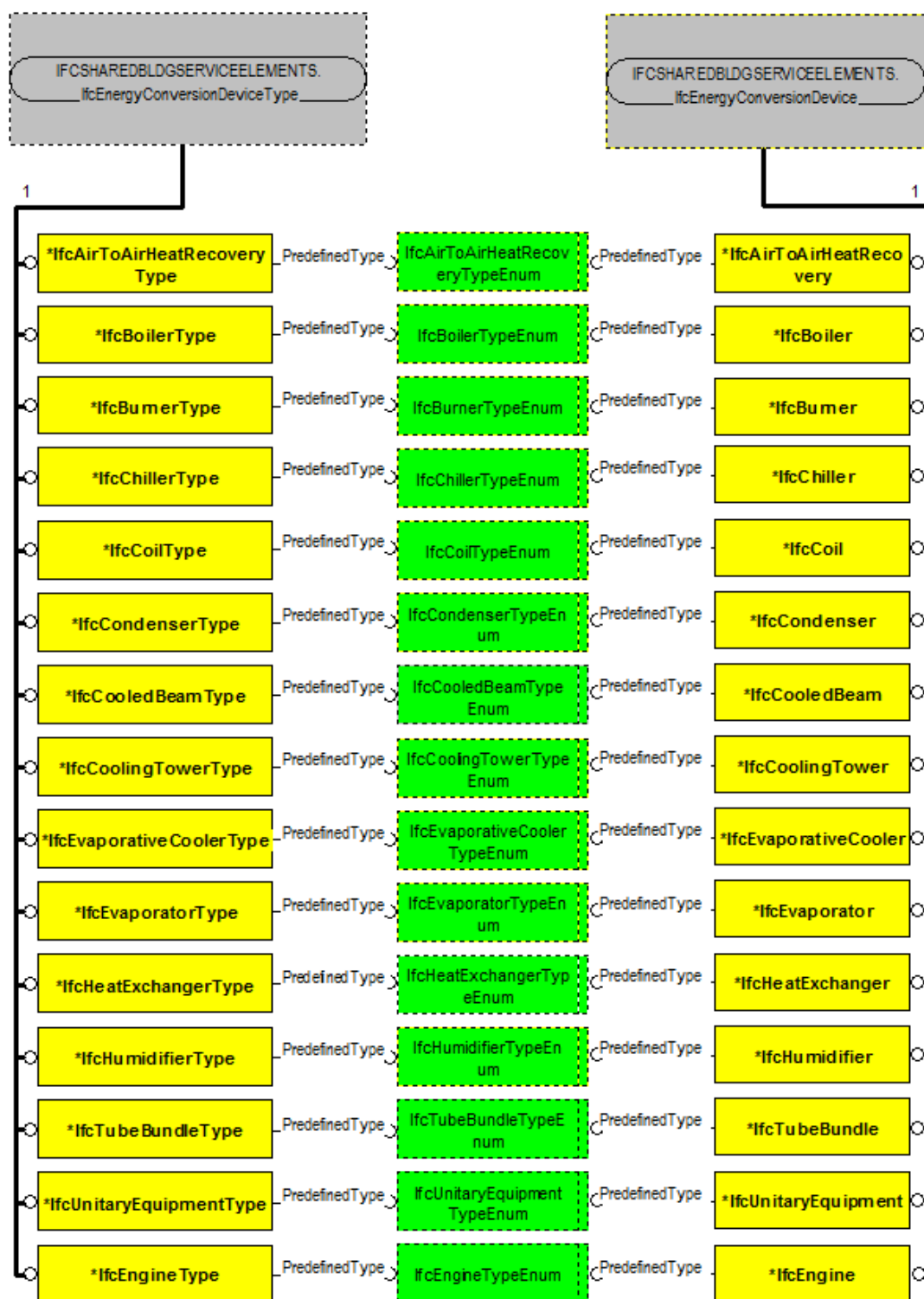
um dispositivo que converte combustível em calor através da combustão de gás, óleo, ou madeira. Este, define a ocorrência de cada “Queimador” enquanto que o seu par, *IfcBurnerType*, trata da informação comum relativa aos tipos de queimadores como o seu nome, uso, propriedades, materiais e por aí fora.

Os tipos de queimadores possíveis de definir são enquadrados com o *IfcBurnerTypeEnum* cuja especificação em linguagem EXPRESS é a seguinte:

EXPRESS specification:

```
TYPE IfcBurnerTypeEnum = ENUMERATION OF  
  (USERDEFINED,  
   NOTDEFINED);  
END_TYPE;
```

Deste pequeno pedaço de código EXPRESS anterior retira-se que é possível especificar um tipo de queimador definido pelo utilizador [17].



IFC2X4: IfcEngineType added; IfcBurnerType replaces IfcGasTerminalType; occurrence entities added in parallel to all type entities

Figura 14 - Arquitetura do *IfcHvacDomain* [17].

4.2.4 Outras Entidades

IfcSharedBldgServiceElements

O esquema *IfcSharedBldgServiceElements* no *layer* da interoperabilidade define conceitos básicos necessários para a interligação entre os domínios *IfcHvacDomain*, *IfcElectricalDomain* e *IfcBuildingControlsDomain* [17]. Tal como mostra a (Figura 15), um tipo pode ter zero ou mais ocorrências. Cada ocorrência pode ter múltiplas entidades de desempenho histórico associadas, permitindo que dados específicos de certas fases do projeto possam ser mantidos durante todo o ciclo de vida do projeto [17].

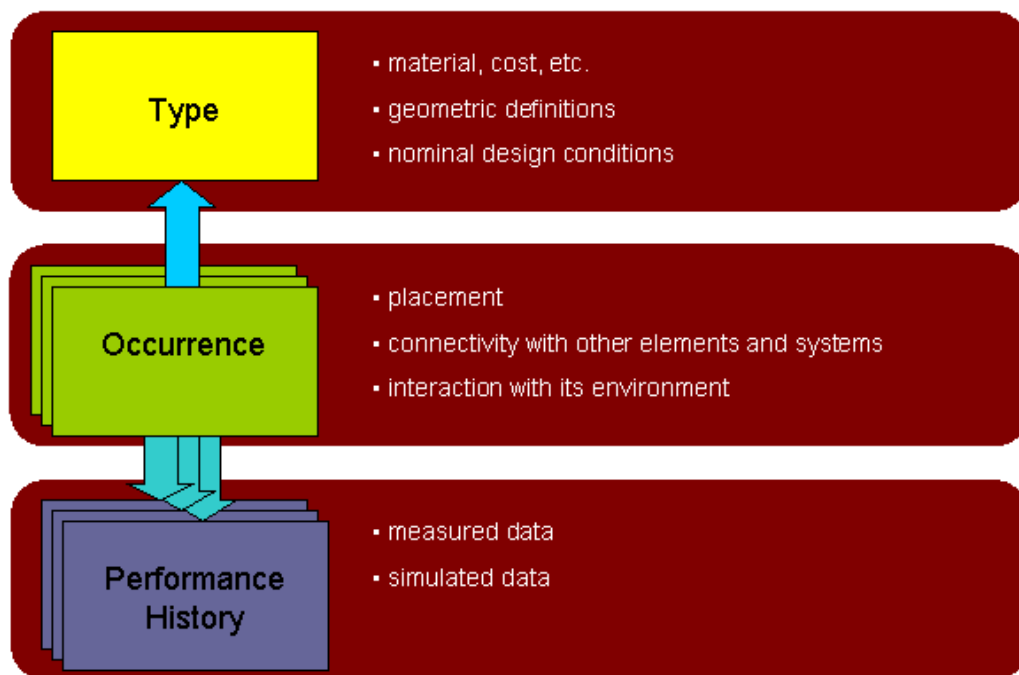


Figura 15 - A figura mostra graficamente como uma ocorrência pode estar associada a um tipo e a vários históricos de desempenho [21].

IfcPerformanceHistory

É a entidade usada para documentar o desempenho de uma ocorrência ao longo do tempo. Estes dados não são fáceis de obter pois podem provir de diferentes fontes, como por exemplo, simulação ou medição e ocorrem durante as várias etapas do ciclo de vida de um edifício. Estes dados podem cobrir uma vasta área, incluindo dados meteorológicos [21].

A título de exemplo, a sua especificação EXPRESS é a seguinte:

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcPerformanceHistory
  SUBTYPE OF (IfcControl);
  LifeCyclePhase : IfcLabel;
END_ENTITY;
```

Attribute definitions:

LifeCyclePhase : Describes the applicable building life-cycle phase. Typical values should be DESIGNDEVELOPMENT, SCHEMATICDEVELOPMENT, CONSTRUCTIONDOCUMENT, CONSTRUCTION, ASBUILT, COMMISSIONING, OPERATION, etc.

Inheritance graph

```
ENTITY IfcPerformanceHistory;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory : IfcOwnerHistory;
    Name : OPTIONAL IfcLabel;
    Description : OPTIONAL IfcText;
  ENTITY IfcObjectDefinition;

  INVERSE
    HasAssignments : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
    IsDecomposedBy : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  ENTITY IfcObject;
    ObjectType : OPTIONAL IfcLabel;
  INVERSE
    IsDefinedBy : SET OF IfcRelDefines FOR RelatedObjects;
  ENTITY IfcControl;
  INVERSE
    Controls : SET OF IfcRelAssignsToControl FOR RelatingControl;
  ENTITY IfcPerformanceHistory;
    LifeCyclePhase : IfcLabel;
END_ENTITY;
```

Pode ver-se pela especificação em EXPRESS anterior que cada ocorrência pode ser relacionada com diferentes fases do projeto seja na fase inicial de conceção e desenho (DESIGNDEVELOPMENT) ou na fase final de operação e manutenção do edifício (OPERATION).

IfcTimeSeries

Esta entidade é um conjunto de entradas com datas, logo permite a associação de dados recolhidos em intervalos de tempo que podem ser regulares ou irregulares. Nas entradas regulares, os dados podem chegar de forma previsível em intervalos de tempo predefinidos. Nas irregulares, a chegada dos dados não corresponde a um padrão definido e grandes quantidades de dados podem chegar a qualquer altura.

A modelação de edifícios e o seu desempenho ao longo do tempo envolve dados que são gerados e guardados. O tipo de dados usado pode ser muito diverso, pois são todos os dados que tenham a ver com tempo. A perceção e uso destes dados pode ser crucial e o *IfcTimeSeries* possui as estruturas necessárias para acomodar estes tipos de dados [21].

Possui os seguintes atributos editáveis:

- ✓ *Name*
- ✓ *Description*
- ✓ *StartTime*
- ✓ *EndTime*
- ✓ *TimeSeriesDataType*
- ✓ *DataOrigin*
- ✓ *UserDefinedDataOrigin*
- ✓ *Unit*

4.3 Definição de Propriedades

As propriedades de cada entidade podem ser alteradas pelo utilizador, por exemplo, no caso de sensores podem ter-se diversos tipos tais como sensor de gás, fumo, calor, humidade, temperatura e muitos outros. Estas propriedades são definidas pelo utilizador no menu IFC Manager (ArchiCAD) através do editor de propriedades *Pset_SensorTypeTemperatureSensor*, sendo no exemplo seguinte (Tabela 5) o caso para um sensor de temperatura. As propriedades editáveis encontram-se na (Tabela 6) e inclui os limites de funcionamento do sensor, a precisão da medição, a constante de tempo e outras [21].

Tabela 5 – Exemplo de definição das propriedades gerais para um sensor de temperatura [21].

PropertySet Name	Pset_SensorTypeTemperatureSensor
Applicable Entities	IfcSensorType
Applicable Type Value	IfcSensorType.PredefinedType="TEMPERATURESENSOR"
Definition	Definition from IAI: A device that senses or detects temperature.

Tabela 6 – Exemplo da definição das propriedades IFC de um sensor de temperatura [21].

Name	Property Type	Data Type	Definition
TemperatureSensorType	IfcPropertyEnumeratedValue	PEnum_TemperatureSensorType <ul style="list-style-type: none"> • HighLimit • LowLimit • OutsideTemperature • OperatingTemperature • RoomTemperature • Other • NotKnown • Unset 	Enumeration that Identifies the types of temperature sensor that can be specified.
TemperatureSensorSetPoint	IfcPropertySingleValue	IfcThermodynamicTemperatureMeasure / THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT	The temperature value to be sensed.
TemperatureSensorRange	IfcPropertyBoundedValue	IfcThermodynamicTemperatureMeasure / THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT <ul style="list-style-type: none"> • LowerBound: ? • UpperBound: ? 	The upper and lower bounds for operation of the temperature sensor. May also be termed 'deadband'
AccuracyOfTemperatureSensor	IfcPropertySingleValue	IfcThermodynamicTemperatureMeasure / THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT	The accuracy of the sensor
TimeConstant	IfcPropertySingleValue	IfcTimeMeasure / TIMEUNIT	The time constant of the sensor.

Na (Tabela 6) é possível verificar que se pode definir os tipos de sensor de temperatura desejável consoante o objetivo de cada um, quer seja um sensor de temperatura para medir a temperatura do ar exterior ou um sensor de temperatura para medir a temperatura dentro de uma divisão do edifício.

Na primeira coluna (*Name*), tem-se o nome da propriedade editável, que poderá ser *TemperatureSensorType* (o tipo de sensor de temperatura), *TemperatureSensorSetPoint* (a temperatura de referência do sensor), *TemperatureSensorRange* (o intervalo de funcionamento do sensor), *AccuracyOfTemperatureSensor* (a precisão do sensor) ou *TimeConstant* (constante de tempo do sensor, que define o intervalo de tempo em que são realizadas as medições).

A segunda coluna (*Property Type*), trata dos diversos tipos de propriedades presentes, nomeadamente *IfcPropertyEnumeratedValue* (sugere que o valor é atribuído a partir de uma lista de valores enumerados), *IfcPropertySingleValue* (o valor atribuído, seja ele numérico ou descritivo, é único) e *IfcPropertyBoundedValue* (onde a propriedade é designado no máximo dois valores, sendo um o limite máximo e o outro o limite mínimo).

A terceira coluna, *Data Type*, refere-se ao tipo de dados que determinada propriedade aceita, no caso do tipo de sensor de temperatura, lista todos os tipos de sensor de temperatura como o *HighLimit* e *LowLimit* (sensores para medir temperaturas limite máximas e mínimas), *OutsideTemperature* (sensor de medição de temperaturas exteriores), *OperatingTemperature* (realiza a medição de temperaturas de funcionamento de qualquer sistema), *RoomTemperature* (sensor que dá a temperatura de um determinado espaço) e ainda três outros, *Other*, *NotKnown* e *Unset* que sugerem a criação por parte do utilizador de um outro

tipo qualquer de sensor de temperatura com o propósito de fazer medições de temperatura à medida da pretensão de cada um. Já a temperatura de referência do sensor e a sua precisão são valores únicos do tipo *IfcThermodynamicTemperatureMeasure*, real, cuja unidade termodinâmica (THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT) é o grau Kelvin (K). Também o intervalo de temperatura do sensor se rege pela mesma unidade de medida, o Kelvin, para definir os seus limites máximo e mínimo. Na constante de tempo do sensor os dados são da forma *IfcTimeMeasure*, do tipo real, e cuja unidade de medida da duração dos períodos de tempo (TIMEUNIT) é normalmente o segundo (s).

A quarta e última coluna, *Definition*, faz uma breve descrição de cada uma das propriedades que acabámos de ver.

De referir ainda que dada a constante atualização do modelo IFC por parte da BuildingSMART, algumas destas propriedades podem já ter sido revistas e atualizadas ou descontinuadas.

Capítulo 5.

Implementação

O presente capítulo está dividido em duas partes distintas, pois foram consideradas para o presente estudo duas ferramentas BIM: O ArchiCAD 15 da Graphisoft e o Revit Architecture 13 da Autodesk. O primeiro, como descrito acima, foi considerado na fase inicial do projeto ao passo que o segundo o foi na fase final e conclusões. A escolha por estas duas ferramentas BIM 3D CAD deveu-se sobretudo devido à popularidade quer da Graphisoft, quer da Revit, pois analisando brevemente o mercado onde se inserem, este revela-nos que atualmente estes dois grupos são efetivamente os *players* maiores do segmento. Tendo em conta essa noção tornou-se óbvio que esta opção se viria a revelar acertada pelo simples facto de que sendo as duas maiores, terão certamente um maior número de utilizadores envolvidos e logicamente maior informação disponível para objeto de estudo.

5.1 Primeira Fase – ArchiCAD 15

O ArchiCAD é um programa de desenho assistido por computador e ferramenta 3D BIM desenvolvido pelo Graphisoft e teve um papel relevante na realização desta tese pois permitiu iniciar a aquisição dos conhecimentos necessários sobre o padrão de interoperabilidade IFC bem como desenvolver o processo de aprendizagem de ferramentas 3D utilizando o BIM. Sendo a Graphisoft um dos impulsionadores da utilização do BIM, é uma ferramenta bastante útil pois permite tomar contacto, entre outras, com as propriedades editáveis em IFC e com as exportações de modelos BIM para modelos IFC.

5.1.1 Projeto

Em ArchiCAD foi projetado um gabinete com quatro paredes (*IfcWallStandardCase*), chão (*IfcSlab*), teto (*IfcSlab*), uma janela (*IfcWindow*), uma porta (*IfcDoor*) e quanto ao mobiliário, estão presentes uma cadeira (*IfcFurnishingElement*), uma secretária (*IfcFurnishingElement*) e uma estante (*IfcFurnishingElement*) como se pode ver na sua representação em 2D na (Figura 17) ou em 3D na (Figura 18). Como elementos externos encontram-se três sensores (*IfcBuildingElementProxy*), um painel fotovoltaico (*IfcBuildingElementProxy*), um sistema de ventilação (*IfcBuildingElementProxy*) e um gerador eólico (*IfcBuildingElementProxy*) também visíveis nas (Figura 18) e (Figura 19). Os elementos que aparecem nas figuras foram criados apenas com o propósito de estudar a edição dos seus atributos e não para fazer sentido do ponto de vista estilístico e arquitetónico. Como é possível constatar pela (Figura 16) todos os elementos criados no modelo BIM têm o seu correspondente no modelo IFC, devidamente enquadrados entre parêntesis nas linhas anteriores.

Exceto os sensores, todos os restantes elementos encontram-se na biblioteca do ArchiCAD sendo acessíveis apenas percorrendo a lista de elementos presentes e escolher os necessários. Quanto aos sensores, pelo facto de serem elementos externos terão de ser adicionados ao projeto. Este processo de inclusão dos sensores não é tão claro e simples como se pretendia e segue o seguinte padrão: File>Libraries and Objects de seguida é dado a escolher uma pasta onde esteja presente esse objeto exterior através do “Browse For a Folder” e “Browse”. Escolhida a pasta e o objecto (pode estar em vários formatos incluindo *.dwg ou *.dxf) define-se o tradutor (“*translator*”) que irá colocar o nosso objeto estranho no formato da biblioteca do ArchiCAD e faz-se “Open”. Este último passo abrirá uma janela com o *layer* que se pretende importar juntamente com o objeto. Fazendo “Ok” irá abrir o menu de criação de objetos que é comum à criação de objetos dentro do modelo ou à importação de objetos externos. Neste menu apenas temos de guardar o objeto importado (é possível alterar alguns atributos do desenho do objeto ainda antes de o guardar) com o tipo “ArchiCAD Object File (*.gsm)”, dar-lhe um nome e certificar que é adicionado à biblioteca embebida, ficando desde logo o objeto disponível para implementar no projeto.

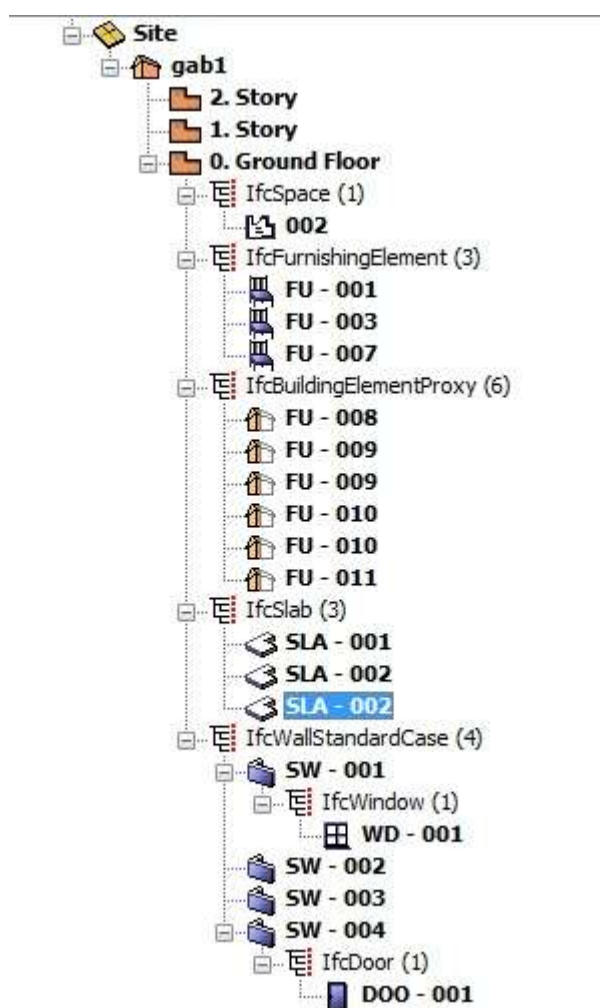


Figura 16 - Árvore contendo todos os elementos criados com as designações em IFC

Foi criada uma zona onde se inserem todos estes elementos, sendo a sua designação *Zone* ou *IfcSpace*. Nesta zona, criada com o objetivo concreto de simular um escritório é possível alterar diversas propriedades como o sistema de ventilação (*Pset_AirSideSystemInformation*)(Figura 20), onde se encontram atributos editáveis tais como a “potência de ventilação”, “fluxos de ar”, entre muitas outras; os requisitos de iluminação (*Pset_SpaceLighting*)(Figura 21), onde se encontram presentes os atributos “iluminação artificial e “emissão luminosa”; a ocupação do espaço (*Pset_SpaceOccupancy*)(Figura 21) inclui atributos como “área por ocupante” ou “tempo de ocupação por dia”; requisitos térmicos (*Pset_SpaceThermalRequirements*)(Figura 22) onde são editáveis diversos atributos, entre eles “ar condicionado” e “temperatura máxima no espaço” só para mencionar alguns.

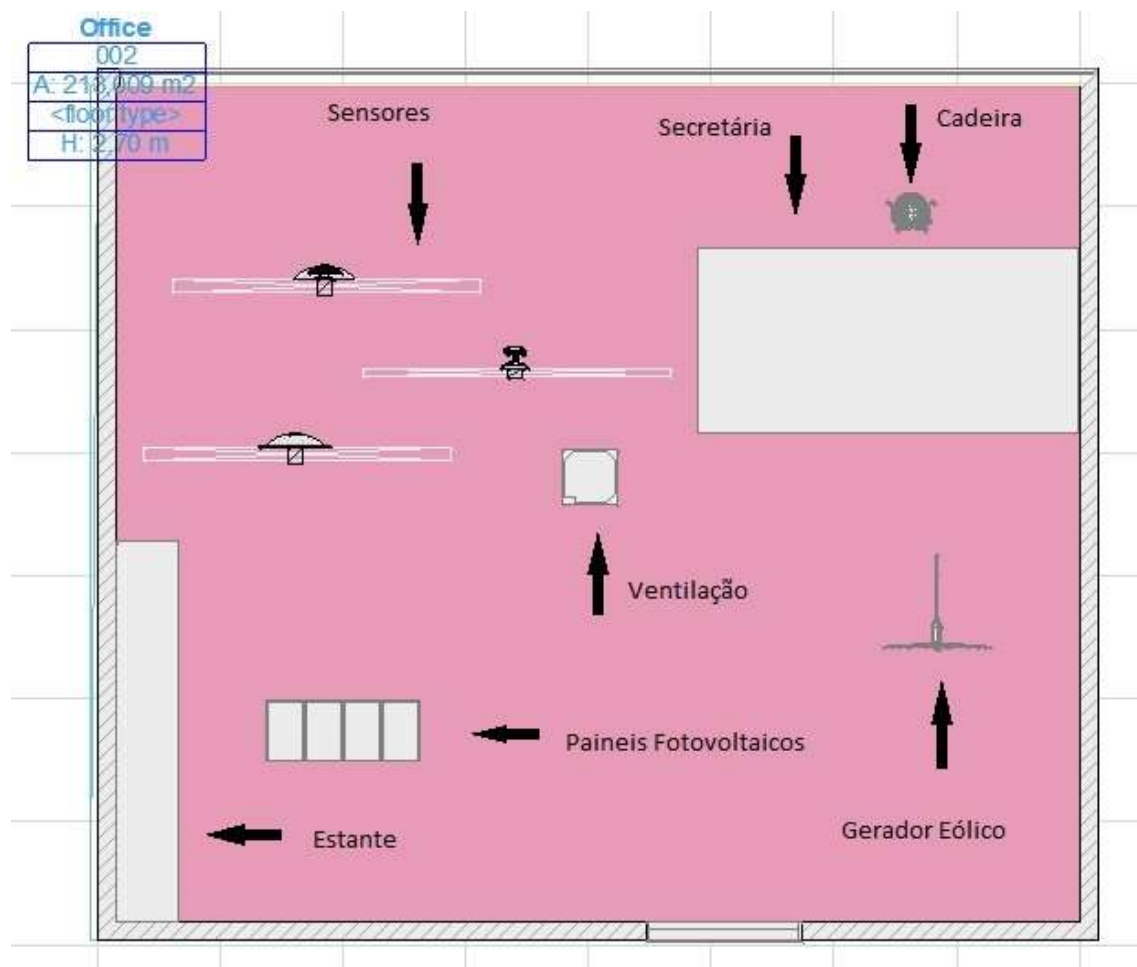


Figura 17 - Vista 2D do Gabinete 1 com todos os elementos criados

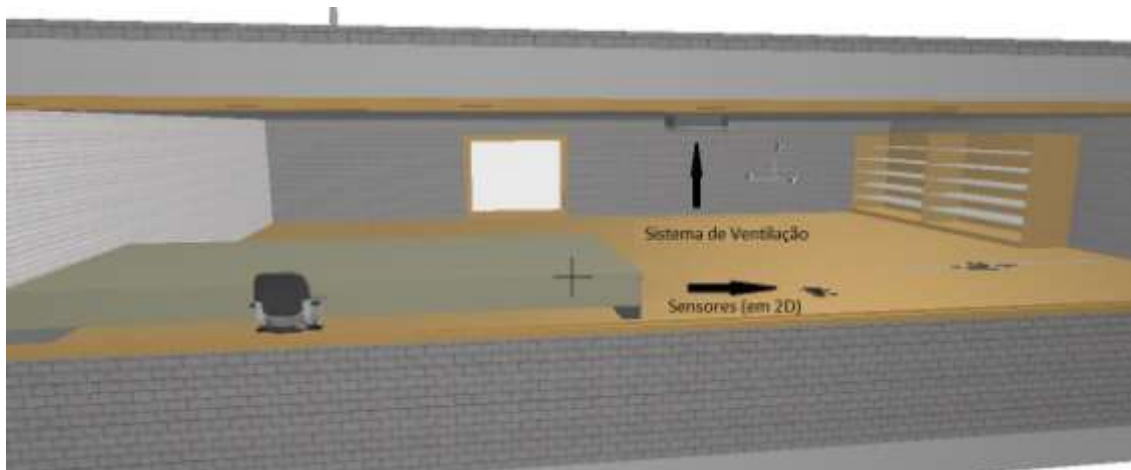


Figura 18 - Vista 3D do interior do escritório projetado.

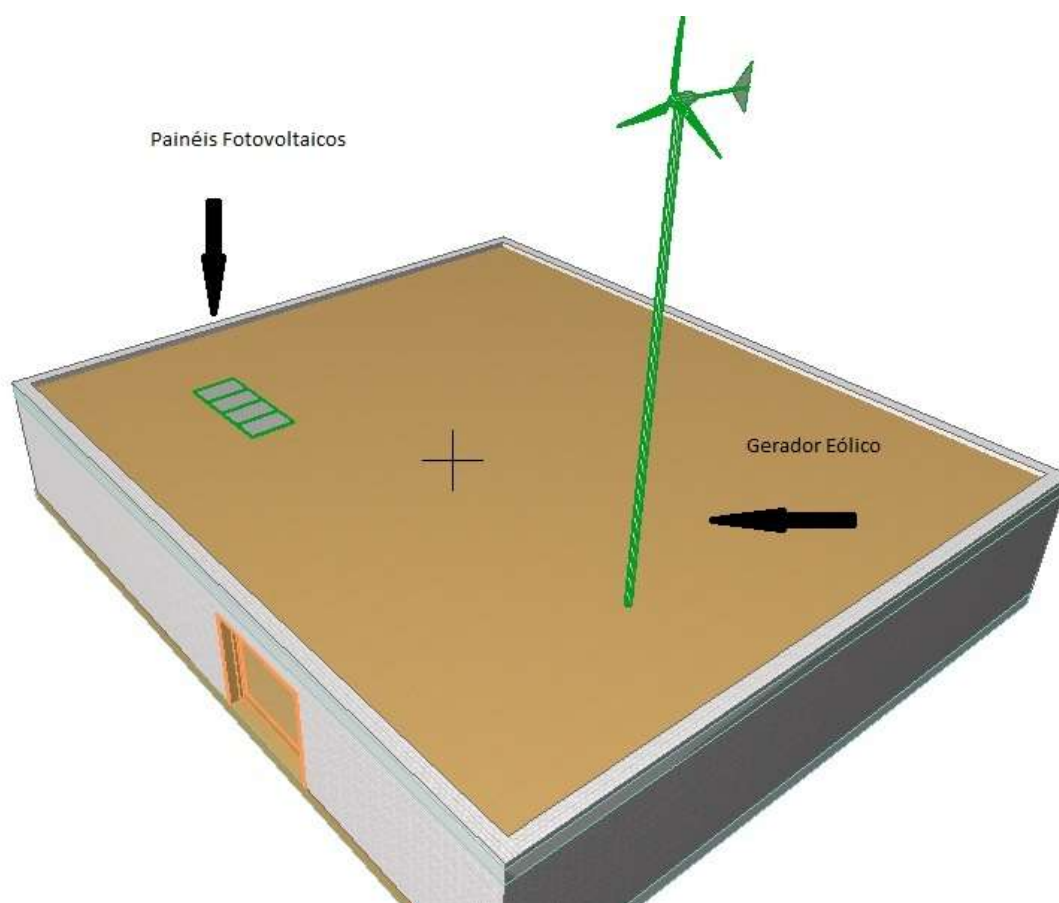


Figura 19 - Vista 3D do exterior do gabinete projetado

5.1.2 Propriedades e atributos

	Name	Value	Unit	Type
▶	Attributes (IfcSpace)			
▶	AC_Pset_RenovationAndPhasing			
▼	Pset_AirSideSystemInformation			
<input type="checkbox"/>	AirflowSensible	0		IfcVolumetricFlowRateMeasure
<input type="checkbox"/>	AirSideSystemDistributionType			IfcPropertyEnumeratedValue
<input type="checkbox"/>	AirSideSystemType			IfcPropertyEnumeratedValue
<input type="checkbox"/>	ApplianceDiversity	0		IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/>	CoolingTemperatureDelta	0		IfcThermodynamicTemperatureMeasure
<input type="checkbox"/>	Description			IfcLabel
<input type="checkbox"/>	EnergyGainSensible	0		IfcPowerMeasure
<input type="checkbox"/>	EnergyGainTotal	0		IfcPowerMeasure
<input type="checkbox"/>	EnergyLoss	0		IfcPowerMeasure
<input type="checkbox"/>	FanPower	0		IfcPowerMeasure
<input type="checkbox"/>	HeatingTemperatureDelta	0		IfcThermodynamicTemperatureMeasure
<input type="checkbox"/>	InfiltrationDiversitySummer	0		IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/>	InfiltrationDiversityWinter	0		IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/>	LightingDiversity	0		IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/>	LoadSafetyFactor	0		IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/>	Name			IfcLabel
<input type="checkbox"/>	TotalAirflow	0		IfcVolumetricFlowRateMeasure
<input type="checkbox"/>	Ventilation	0		IfcVolumetricFlowRateMeasure

Figura 20 - Propriedades IFC editáveis num espaço de escritório: Sistema de Ventilação (Pset_AirSideSystemInformation)

Na *Zone (IfcSpace)* criada é possível definir imensos atributos que são comuns a todo este espaço, ou seja, para além de cada elemento presente neste espaço ter as suas próprias propriedades editáveis, também o espaço comum tem as suas próprias propriedades gerais e individuais sendo estas últimas editáveis ou não. Das não editáveis constam o *GlobalID*, código que identifica este espaço em todo o projeto e o *Name* que é atribuído pelo próprio projeto, neste caso “002” como se pode ver na (Figura 16) por baixo de *IfcSpace*. Das propriedades editáveis pelo utilizador fazem parte a *Description*, usada para descrever o espaço em causa, ou o *InteriorOrExteriorSpace*, que serve para caracterizar um dado espaço como interior, exterior ou não definido. Todas estas propriedades podem ser visualizadas e alteradas, acedendo ao menu File>File Special>IFC2x3>IFC Manager onde é mostrada a árvore com todos os elementos criados (Figura 16) e a lista dos atributos editáveis (Figura 20)(Figura 21)(Figura 22).

Cada um destes atributos possui um Nome, um Valor, uma Unidade e um Tipo. Tomando como exemplo o tipo do sistema de distribuição da ventilação (*AirSideSystemDistributionType*) (Figura 20) é possível alterar o tipo de sistema, alterando o seu valor para conduta simples (SINGLEDUCT), conduta dupla (DUALDUCT) ou ainda outras definidas pelo utilizador.

Pset_SpaceFireSafetyRequirements		
<input type="checkbox"/> AirPressurization	False	IfcBoolean
<input type="checkbox"/> AncillaryFireUse		IfcLabel
<input type="checkbox"/> FireExit	False	IfcBoolean
<input type="checkbox"/> FireHazardFactor		IfcLabel
<input type="checkbox"/> FireRiskFactor		IfcLabel
<input type="checkbox"/> FlammableStorage	False	IfcBoolean
<input type="checkbox"/> MainFireUse		IfcLabel
<input type="checkbox"/> SprinklerProtection	False	IfcBoolean
<input type="checkbox"/> SprinklerProtectionAutomatic	False	IfcBoolean
Pset_SpaceLightingRequirements		
<input checked="" type="checkbox"/> ArtificialLighting	True	IfcBoolean
<input checked="" type="checkbox"/> Illuminance	2300	IfcIlluminanceMeasure
Pset_SpaceOccupancyRequirements		
<input type="checkbox"/> AreaPerOccupant	0	IfcAreaMeasure
<input type="checkbox"/> IsOutlookDesirable	False	IfcBoolean
<input type="checkbox"/> MinimumHeadroom	0	IfcLengthMeasure
<input type="checkbox"/> OccupancyNumber	0	IfcCountMeasure
<input type="checkbox"/> OccupancyNumberPeak	0	IfcCountMeasure
<input type="checkbox"/> OccupancyTimePerDay	0	IfcTimeMeasure
<input type="checkbox"/> OccupancyType		IfcLabel

Figura 21 - Propriedades IFC editáveis num espaço de escritório: Requisitos de Iluminação (Pset_SpaceLightingRequirements), Requisitos de Ocupação (Pset_SpaceOccupancyRequirements) e Requisitos de Segurança (Pset_SpaceFireSafetyRequirements)

Na (Figura 21) é possível reparar que existem dois atributos editáveis relativamente à iluminação deste espaço que são o *ArtificialLighting* e *Illuminance* sendo que o primeiro é do tipo booleano (*True* ou *False*) que classifica o espaço como sendo ou não iluminado artificialmente e o segundo deixa ao critério do utilizador a colocação de um valor para a iluminação (medida em *lux*) do espaço.

Outro conjunto de atributos de relevar é o da ocupação do escritório (*SpaceOccupancyRequirements*) onde é possível atribuir valores para área ocupada por cada ocupante (*AreaPerOccupant*), o pico de ocupação do escritório (*OccupancyNumberPeak*) ou o tempo de ocupação em cada dia (*OccupancyTimePerDay*). As unidades estão no Sistema Internacional.

Existe também um conjunto de atributos relacionado com a segurança de um espaço (*SpaceFireSafetyRequirements*) onde se podem encontrar diversas medidas de segurança presentes no espaço como saídas de emergência (*FireExit*), a presença de material inflamável (*FlammableStorage*) ou a utilização de extintores automáticos de água (*SprinklerProtectionAutomatic*), sendo que os três abordados são do tipo booleano de modo a permitir ao utilizador definir a existência ou não destes sistemas de proteção contra incêndios num dado espaço de escritório.

Pset_SpaceThermalRequirements		
<input checked="" type="checkbox"/> AirConditioning	True	IfcBoolean
<input type="checkbox"/> AirConditioningCentral	False	IfcBoolean
<input type="checkbox"/> DiscontinuedHeating	False	IfcBoolean
<input type="checkbox"/> MechanicalVentilationRate	0	IfcCountMeasure
<input checked="" type="checkbox"/> NaturalVentilation	True	IfcBoolean
<input type="checkbox"/> NaturalVentilationRate	0	IfcCountMeasure
<input type="checkbox"/> SpaceHumidity	0	IfcRatioMeasure
<input type="checkbox"/> SpaceHumiditySummer	0	IfcRatioMeasure
<input type="checkbox"/> SpaceHumidityWinter	0	IfcRatioMeasure
<input type="checkbox"/> SpaceTemperatureMax	0	IfcThermodynamicTemperatureMeasure
<input type="checkbox"/> SpaceTemperatureMin	0	IfcThermodynamicTemperatureMeasure
<input type="checkbox"/> SpaceTemperatureSummerMax	0	IfcThermodynamicTemperatureMeasure
<input type="checkbox"/> SpaceTemperatureSummerMin	0	IfcThermodynamicTemperatureMeasure
<input type="checkbox"/> SpaceTemperatureWinterMax	0	IfcThermodynamicTemperatureMeasure
<input type="checkbox"/> SpaceTemperatureWinterMin	0	IfcThermodynamicTemperatureMeasure
Pset_ThermalLoadAggregate		
<input type="checkbox"/> ApplianceDiversity	0	IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/> InfiltrationDiversitySummer	0	IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/> InfiltrationDiversityWinter	0	IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/> LightingDiversity	0	IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/> LoadSafetyFactor	0	IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/> TotalCoolingLoad	0	IfcPowerMeasure
<input type="checkbox"/> TotalHeatingLoad	0	IfcPowerMeasure
Pset_ThermalLoadDesignCriteria		
<input type="checkbox"/> AppliancePercentLoadToRadiant	0	IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/> LightingLoadIntensity	0	IfcReal
<input type="checkbox"/> LightingPercentLoadToReturnAir	0	IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/> OccupancyDiversity	0	IfcPositiveRatioMeasure
<input type="checkbox"/> OutsideAirFlowRate	0	IfcFlowRateMeasure

Create New Property

Figura 22 – Propriedades IFC editáveis num espaço de escritório: Requisitos Térmicos (Pset_SpaceThermalRequirements)

As opções são imensas e na (Figura 22) é visível mais um conjunto de propriedades onde é possível ao utilizador definir valores para certos atributos de ordem térmica e de conforto como a existência de sistemas de ar condicionado central (*AirConditioningCentral*) ou ventilação natural (*NaturalVentilation*), ambos booleanos, índices de humidade no Verão (*SpaceHumiditySummer*) ou no Inverno (*SpaceHumidityWinter*) e definição de temperaturas máximas e mínimas no Verão (*SpaceTemperatureSummerMax*, *SpaceTemperatureSummerMin*) ou no Inverno (*SpaceTemperatureWinterMax*, *SpaceTemperatureWinterMin*).

É fácil de verificar que as opções disponíveis são bastante diversas e completas de forma a que as especificidades próprias do trabalho de cada utilizador possam ser cumpridas.

A adicionar a todos estes atributos, existe ainda a possibilidade de criar novas propriedades de acordo com as necessidades de cada utilizador. Para criar novas propriedades e/ou atributos tem de se ter em conta se o objetivo é a criação de um novo conjunto de atributos ou simplesmente a adição de um atributo a um conjunto de atributos já existente. No primeiro caso, ao clicar em “*Create New Property*”, aparecem uma série de opções:

Property Set Name – Escolhe-se o nome a dar ao novo conjunto de propriedades;

Property Name – Dá-se o nome ao atributo que irá ser criado dentro do conjunto anteriormente definido;

Property Type – Define-se aqui o tipo de propriedade que se pretende criar, se um valor único (*Single Value*), um valor enumerado (*Enumerated Value*), um valor limitado (*Bounded Value*), um valor tabelado (*Table Value*) ou um valor listado (*Listed Value*);

Value Type – Nesta secção é definido o tipo de valor que vai ser medido, um booleano, se quiser apenas um valor do tipo verdadeiro ou falso, um número inteiro, um número real para incluir os números fraccionários, uma etiqueta para permitir colocar um conjunto de letras para identificação ou mesmo um *IfcTimeStamp*, se os que se pretendem forem datas e horas. Existem muitas outras medições possíveis mas seria exaustivo colocar todas neste texto;

No segundo caso, ou seja para a criação de um ou mais atributos dentro de um conjunto já existente, deve colocar-se no *Property Set Name* um nome da lista pré-estabelecida de propriedades. Os restantes passos são idênticos ao anteriormente realizado.

De referir ainda que cada elemento presente num *IfcSpace* possui ele próprio variadas opções de edição individual.

5.1.3 Exportação do Modelo

O passo seguinte à definição do escritório e suas propriedades é a preparação do modelo BIM para exportação para o modelo IFC. Consegue-se este propósito recorrendo a um *IFC Translator*, que “traduz” a informação contida no modelo BIM em 3D para a linguagem do modelo IFC. O ArchiCAD tem vários à disposição conforme as aplicações de destino e podem usar-se os predefinidos ou criar-se um tradutor à medida das necessidades de cada um.

Este tradutor não é mais do que um sistema de filtragem cujo objetivo é otimizar a informação a ser exportada pois o modelo IFC pretende ser um modelo simplificado de todo o projeto que permita manter a geometria 3D e conhecer a localização exata de cada elemento presente em relação ao edifício e aos outros elementos, bem como as propriedades de cada um [12]. Como este modelo pretende ser global, ou seja, ser utilizado por variadíssimas ferramentas e por diferentes disciplinas, desde a arquitetura às engenharias, esta filtragem assume alguns níveis de complexidade consoante se queira um modelo mais simples, com menos informação, ou mais rico em detalhes pressupondo um grau de informação superior.

A exportação do modelo é realizada seguindo os passos File>Save as.. onde de seguida são dadas a conhecer as diversas opções para exportação (Figura 23). Em “Export” tem-se a possibilidade de fazer logo uma pré-filtragem pois em vez de se escolher “Entire Project” é possível ainda optar por exportar apenas os elementos visíveis em todos os andares do edifício (*Visible Elements All Stories*), todos os elementos do projeto no presente andar (*All Elements Current Story*) ou apenas os elementos visíveis também no presente andar (*Visible Elements Current Story*).

O próximo passo será escolher um tradutor que como foi dito no início deste texto pode usar-se um dos tradutores predefinidos ou criar-se um tradutor à medida das necessidades de cada um. Neste caso será escolhido um *General Translator* para efeitos de teste, onde se podem alterar vários requisitos em “*Settings*”.

A filtragem mais precisa do modelo pode ser realizada em “*Model Filter*” que como se pode ver pela (Figura 23) à direita e em baixo à esquerda, possibilita a remoção de qualquer elemento criado no modelo BIM, permitindo assim apenas exportar a informação que realmente interessar ao utilizador.

Para terminar a exportação basta dar um nome ao projeto, guardá-lo como *.ifc e fica assim concluído o processo de troca de informação entre o modelo BIM e o modelo IFC.

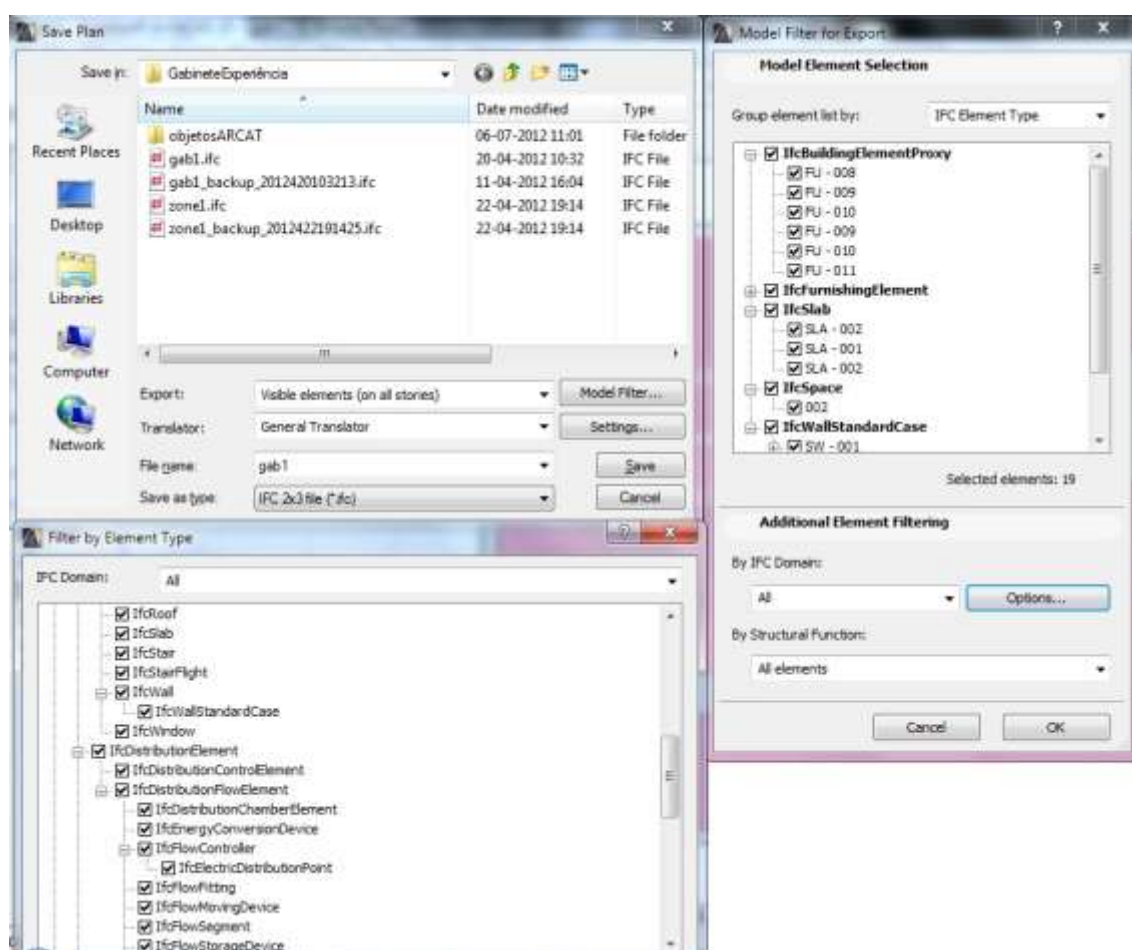


Figura 23 - Opções de Exportação do modelo BIM criado para o modelo IFC.

5.1.4 Visualização do Modelo

É prática corrente visualizar o modelo exportado num *IFC viewer*, no presente caso foi utilizado o Tekla BIMsight que permite abrir o modelo IFC simplificado e perceber se este modelo

simplificado corresponde ao que era esperado aquando da exportação do modelo BIM (Figura 24). Entre as várias opções disponíveis conta-se a possibilidade de filtrar a informação que se pretende visualizar ficando o utilizador com uma ideia exata dos elementos presentes neste modelo.

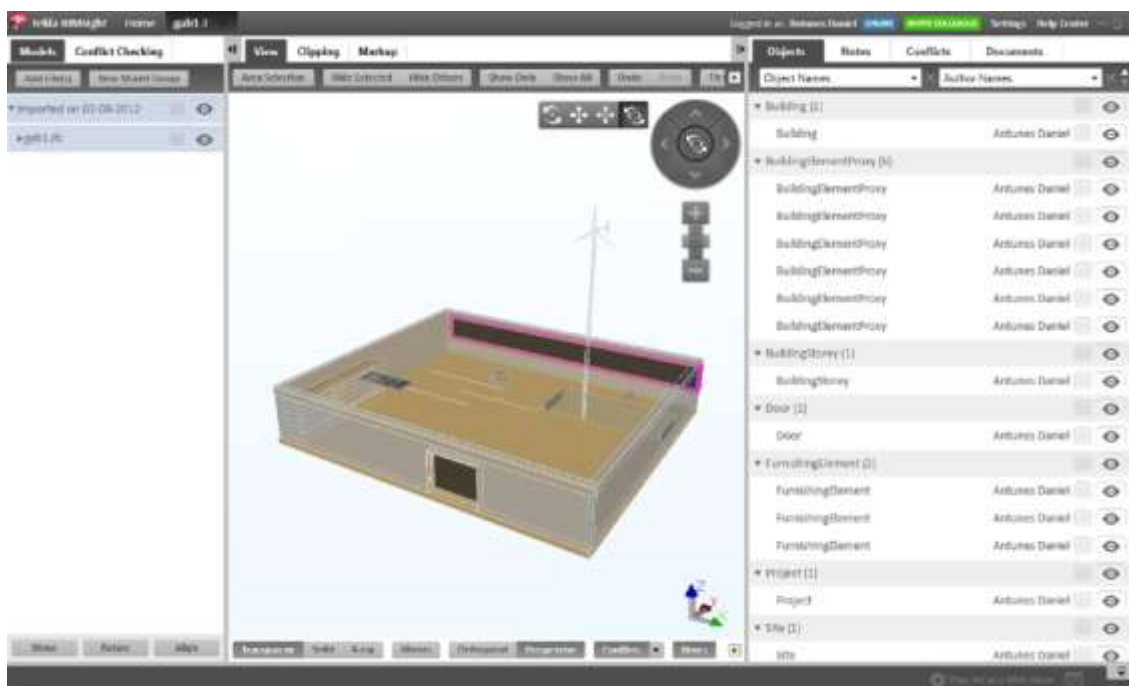


Figura 24 - Visualização do modelo IFC simplificado após exportação. A transparência escolhida permite ver os elementos no interior do escritório.

Os elementos do modelo simplificado aparecem segundo as seguintes denominações a itálico:

- ✓ *BuildingElementProxy*, são os elementos externos ao modelo e inclui os três sensores presentes no gabinete bem como o gerador eólico e o painel fotovoltaico.
- ✓ *FurnishingElements* são as mobílias de escritório e contam-se entre estas uma cadeira, uma secretária e uma estante.
- ✓ *Slab*, são as placas de betão que dão forma aos vários pisos de um edifício tendo neste modelo duas destas placas, definindo assim o chão e o teto.
- ✓ *WallStandardCase*, define as paredes que envolvem o escritório, portanto neste modelo estão quatro presentes.
- ✓ *Door*, elemento que define as portas, estando uma porta incluída neste modelo.
- ✓ *Window*, elemento que define as janelas do edifício, uma incluída também.

Aqui pode ser visualizada toda a estrutura do modelo sendo possível esconder ou tornar visível qualquer dos elementos de forma a ser mais acessível a visualização de determinados pormenores do projeto sendo esta visualização especialmente importante quanto mais complexo é o projeto pois permite “descascar” toda a sua estrutura e visualizar separadamente qualquer uma partes que o integram.

5.1.5 Conclusão

O Archicad demonstrou ser uma ferramenta bastante completa e também complexa onde é possível alguém com pouca experiência nas áreas da engenharia e arquitetura perder-se no meio de um conjunto de opções que parecem infindáveis. Para o objetivo a que se propõe esta tese de mestrado, o Archicad falhou ao nível da adição de elementos exteriores e posterior edição de propriedades. Quer isto dizer que em todos os elementos criados dentro do modelo foi possível criar e/ou alterar propriedades e atributos mas o mesmo já não aconteceu quando se tentou completar o modelo com sensores adquiridos fora do Archicad, sendo este processo de adição de elementos externos ao ArchiCAD deveras complicado, pouco intuitivo e demorado.

5.2 Segunda Fase – Revit Architecture 2013

O Revit Architecture 2013 foi o programa onde se deu continuidade à aprendizagem do BIM, pois a facilidade em criar e incorporar num projeto uma família de sensores vai de encontro precisamente aos objetivos propostos neste trabalho. A exportação do modelo BIM para IFC é simplificada e a edição de propriedades bastante detalhada o que permite realizar projetos de teste mais completos.

5.2.1 Projeto

Foi implementado então um edifício com dois pisos. Para isso recorreu-se a um modelo previamente desenhado disponível no *blog* da *Autodesk Research* [29]. com o nome “SampleRevitFile_v01” que inclui (no primeiro piso) quatro paredes, tendo na parede a Sul uma porta e uma janela e na parede a Este uma porta e duas janelas como visível na (Figura 25). Dentro destas paredes encontram dois espaços, um com 39m² (*Room1*) e outro com 25m² (*Room2*).

É sobre este último que nos iremos debruçar pois foi neste que foram instalados os elementos que iremos estudar. Este possui três grandes grupos de propriedades, as restrições ou limites do espaço (*Constraints*), as dimensões do espaço – não editáveis (*Dimensions*) e os seus dados de identificação (*Data Identity*).

No primeiro grupo definem-se a altura do teto e o piso onde o espaço se encontra. No segundo são-nos fornecidas informações relativas ao volume, perímetro ou área do espaço. No terceiro é possível editar dados como o nome, o número de ocupantes ou os acabamentos do chão. De modo idêntico foi criado um terceiro espaço com 65m² (*Room3*) no segundo piso.

Criados ambos os pisos, segue-se agora a fase de implementação de quatro cubículos, o cubículo 5054 com três sensores (energia, movimento e ocupação) e o cubículo 5055 com dois sensores (movimento e ocupação) no piso 1 (Figura 25), e ainda os cubículos 5056 e 5057 no piso 2, ambos com um sensor, de humidade e de dióxido de carbono, respetivamente (Figura

26). No próximo parágrafo irá ser demonstrado com maior detalhe como foram implementados tanto os cubículos como os sensores.

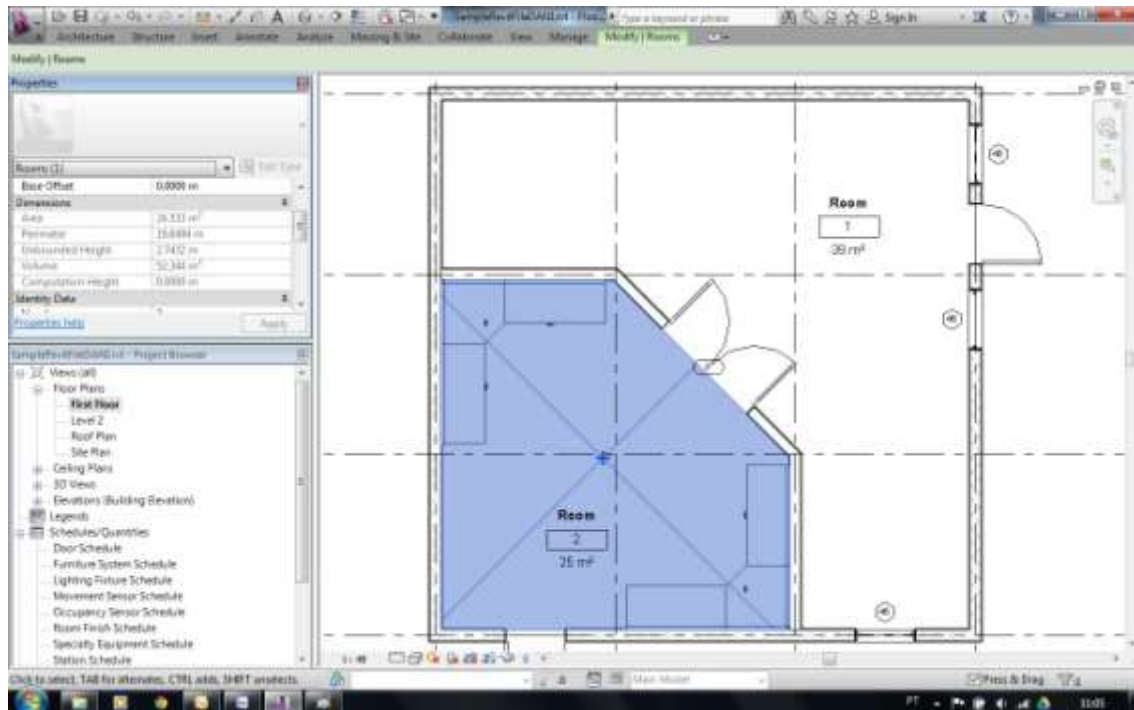


Figura 25 - Vista geral do primeiro piso de escritórios onde é visível o Room2 a azul com os dois cubículos e os cinco sensores.

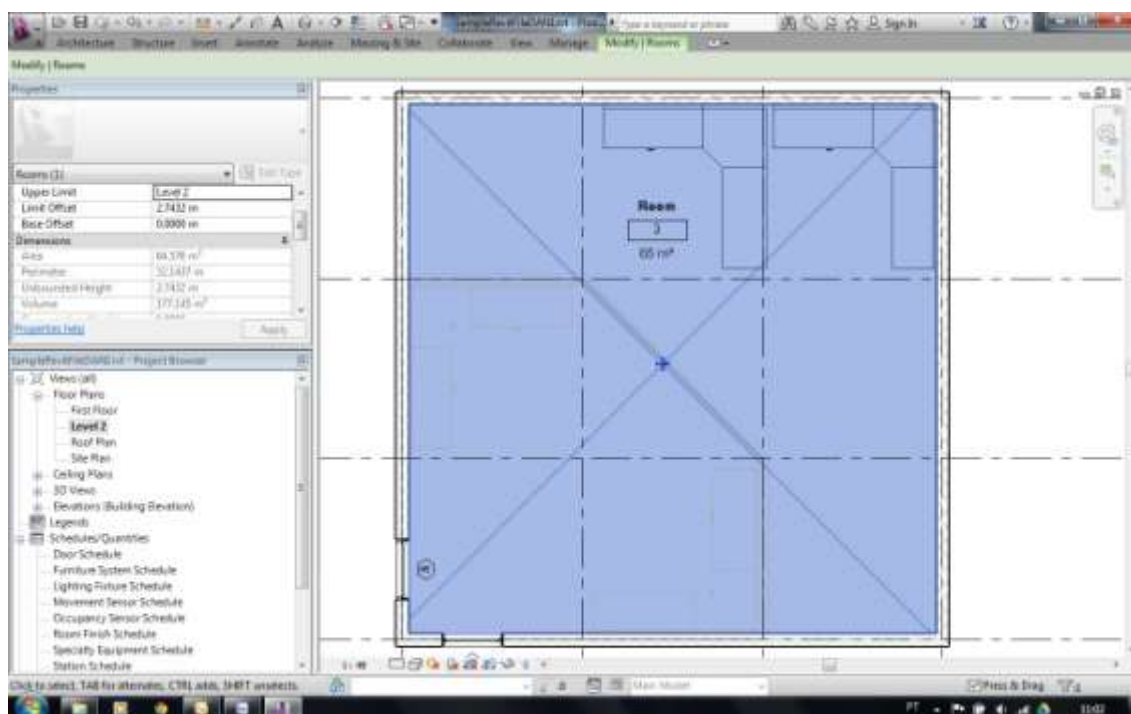


Figura 26 - Vista geral do segundo piso de escritórios onde é visível o Room3 a azul com os dois cubículos e os dois sensores.

5.2.2 As Famílias de objetos e a edição das suas propriedades

No Revit, os elementos estão agrupados por famílias. No presente projeto tem-se duas famílias, a dos cubículos e a dos sensores ambas disponíveis no blog da Autodesk Research [29] .com os nomes “*Work Station Cubicle*” e “*Networked Sensor*” respetivamente.

Para incluir famílias de objetos exteriores ao Revit, basta fazer “Insert>Load Family” e escolher da pasta o ficheiro *.rfa pretendido. Passará a estar disponível o cubículo, visível no *Project Browser* em “Families>Furniture Systems”. De seguida é só arrastar para dentro do projeto e posicioná-lo no espaço onde se pretende colocar esse mesmo objeto, neste caso o cubículo.

A partir da primeira família (*Work Station Cubicle*) criaram-se quatro cubículos distribuídos por dois pisos (5054, 5055, 5056, 5057) e foram alteradas algumas propriedades de forma a permitir criar uma relação entre os sensores e o seu cubículo anfitrião e assim associar a informação dos sensores a cada cubículo individualmente.

Para criar um novo parâmetro, *Station*, associado ao nome do cubículo, de modo a ser possível distinguir entre os vários cubículos da mesma família foram seguidos os seguintes passos: *Menu Modify>Edit Family>Create>Family Types>Add Parameters*. Chegando aqui terá de ser escolhido um *Parameter Type (Family Parameter)* e *Instance*. De seguida é dado um nome, um tipo e um grupo à escolha do utilizador, neste caso *Station*, *Text* e *Constraints*, respetivamente. Para finalizar fazer *Create>Load into Project* de modo a que as alterações realizadas estejam agora visíveis (Figura 27). Nesta pode ver-se que foi criado um grupo *Constraints* com um parâmetro de nome *Station* comum a todos os cubículos de forma a que a cada cubículo que seja criado no projeto possa ser dado um nome que o distinga dos outros.

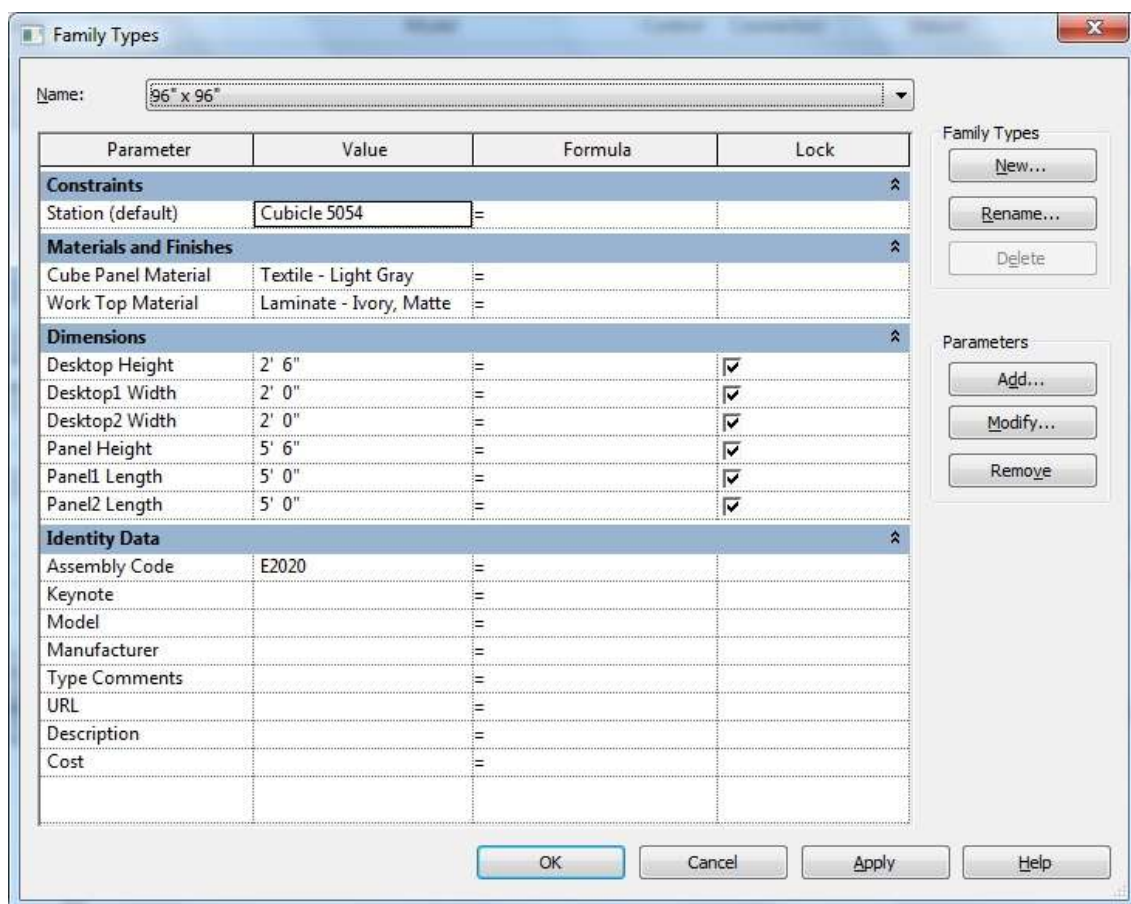


Figura 27 - Propriedades alteradas para uma família de cubículos

Várias outras propriedades podem igualmente ser alteradas para cada cubículo individualmente como por exemplo as dimensões do objeto, os materiais utilizados bem como inúmeros dados de identificação como o modelo, o fabricante ou o custo só para mencionar alguns, visíveis na (Figura 28).

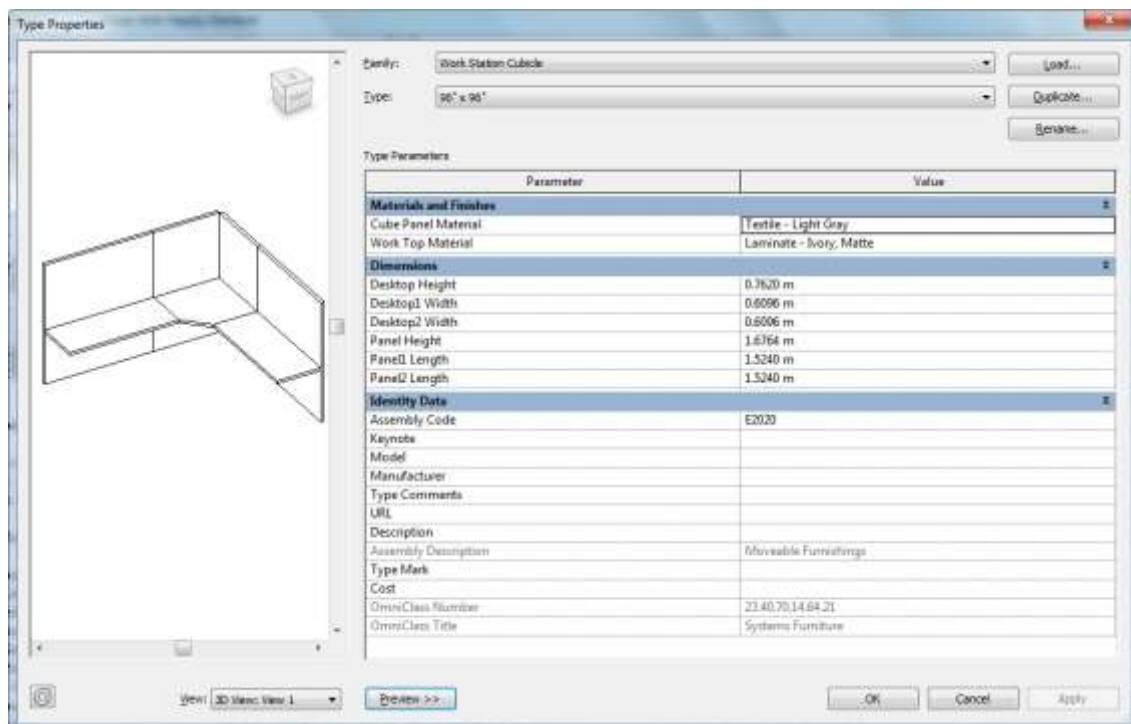


Figura 28 - Exemplo de alguns parâmetros editáveis individualmente para cada cubículo.

Seguidamente irá ser adotado o processo anterior para adicionar a família de sensores ao projeto. Esta família “Networked Sensor”, ficará então visível no *Project Browser* sob o nome *Specialty Equipment>Networked Sensor*.

A família de sensores escolhida possui sensores de CO, CO₂, Humidade, Luminosidade, Movimento, Fumo, Som, Ocupação, Temperatura, Direção do Vento, Velocidade do Vento, Pressão, Corrente Elétrica entre outros. Para além destes ainda foi adicionada à família, um sensor de Energia que visa a medição de consumos energéticos cujas propriedades editáveis são apresentadas na (Figura 30).

Ao nível do projeto foram adicionados dois sensores de movimento, um no cubículo 5054 e outro no 5055, dois sensores de ocupação, um em cada um dos cubículos anteriores, um sensor de energia no cubículo 5054, um sensor de dióxido de carbono no 5056 e um sensor de humidade no 5057.

Um dos parâmetros a ter em conta nesta família de sensores é o parâmetro IFC pois este vai assegurar que o sensor é reconhecido como tal aquando da exportação para o modelo IFC. Na (Figura 30) é visível o grupo Electrical criado para agrupar o parâmetro Consum cuja unidade de medição de energia é o Btu e o parâmetro IFC que identifica este sensor como um sensor de energia (*ENERGYSENSOR*).

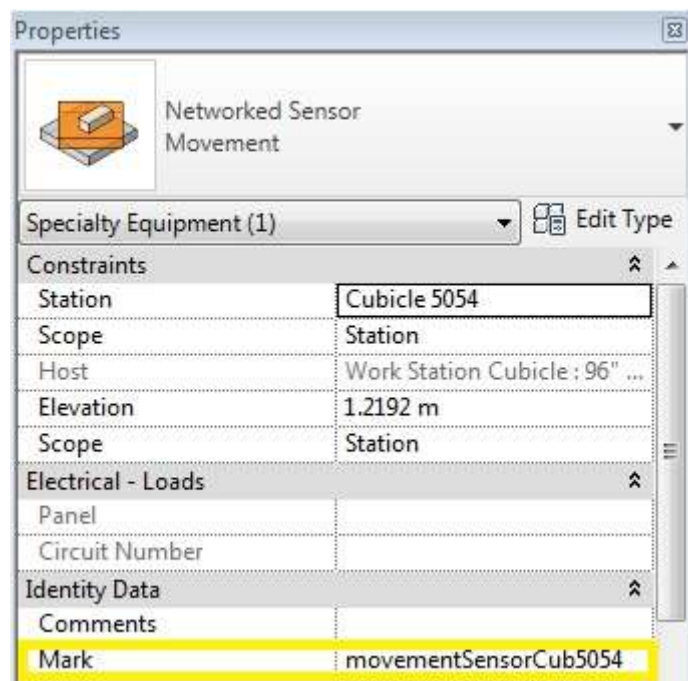


Figura 29 - Ligação entre os sensores do modelo BIM e os sensores reais.

Outros dois parâmetros foram criados para relacionar um sensor com determinado cubículo, *Scope* e *Station*, o primeiro para definir o nível a que estão os dados a ser recolhidos (ao nível dos cubículos) e o segundo para relacionar o sensor com o cubículo anfitrião anteriormente identificado (cubículo 5054) como se pode ver na (Figura 30).

Para se fazer a correlação entre os sensores físicos e os sensores presentes no modelo BIM é necessário identificar individualmente cada sensor e para isso deverá escrever-se o seu ID único no menu das suas propriedades sob o nome *Identity Data>Mark*, como se pode verificar pela (Figura 29).

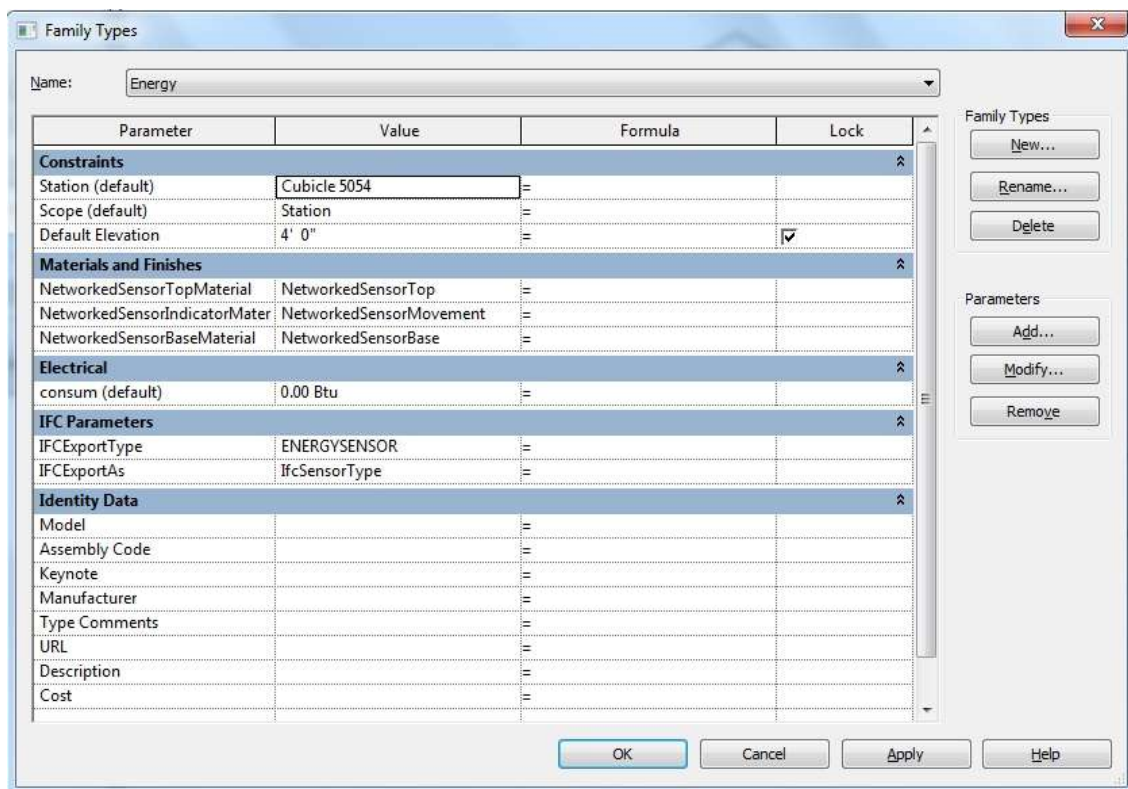


Figura 30 - Exemplo de alguns parâmetros editáveis no sensor de Energia.

Depois de alteradas todas as propriedades relevantes e o modelo completo e com todos os sensores colocados, o passo seguinte será a organização de todos os elementos do modelo. Neste sentido, foram criados *Schedules*, que não são mais do que tabelas que permitem organizar os elementos de acordo com os critérios desejados.

No presente projeto, o foco incide sobre as redes de sensores e assim foi criado uma tabela com o nome *Specialty Equipment Schedule* para mostrar todos os sensores instalados nos dois pisos do edifício. Existem vários campos disponíveis que correspondem aos critérios de seleção da informação que se pretende visualizar e são representados por colunas na tabela.

Como se pode ver pela(Tabela 7), os campos escolhidos pretendem mostrar a família de sensores (*Family*), o tipo de sensor implementado (*Type*), o piso onde o sensor se encontra (*Level*), o nível a que este recolhe a informação (*Scope*), o valor do consumo energético (no caso do sensor de energia - consum), o nome pelo qual é identificado o sensor (*Mark*) e a contagem de sensores (*Count*).

Tabela 7 - Exemplo de um schedule que permite visualizar a informação relativa aos sensores implementados.

Specialty Equipment Schedule						
Family	Type	Level	Scope	consum	Mark	Count
Networked Sensor	Movement	First Floor	Station		movementSensorCub5054	1
Networked Sensor	Movement	First Floor	Station		movementSensorCub5055	1
Networked Sensor	Occupancy	First Floor	Station		occupancySensorCub5054	1
Networked Sensor	Occupancy	First Floor	Station		occupancySensorCub5055	1
Networked Sensor	Humidity	Level 2	Station		humiditySensorCub5057	1
Networked Sensor	CO2	Level 2	Station		co2SensorCub5056	1
Networked SensorDANI	Energy	First Floor	Station	699 Btu	energySensorCub5054	1

Para além da escolha dos campos, é possível ainda filtrar a informação e dispô-la de acordo com os objetivos de cada utilizador, bem como formatar cada campo e ordenar essa informação pelo critério definido. Existem *schedules* para todos os tipos de elementos no projeto, como o *Room Schedule* ou o *Door Schedule* entre diversos outros. De modo a filtrar a informação e dispô-la pelos critérios definidos basta ir ao menu das propriedades e em *Fields*, escolher as colunas a apresentar, em *Filter*, as opções de filtragem da informação, em *Sorting/Grouping* pode organizar-se a forma de apresentação da informação e em *Formatting* e *Appearance* várias outras soluções de apresentação mais viradas para a estética e formatação.

5.2.3 Exportação do modelo

Findo todo este processo, resta a exportação para o formato IFC que no Revit consiste em exportar o modelo BIM para um ficheiro IFC, visível no menu principal do programa como *Export>IFC(Saves an IFC file)*, guardando deste modo todas as definições necessárias ao modelo IFC. No menu da exportação, dá-se um nome ao ficheiro e um formato de ficheiro IFC, neste caso será do tipo IFC 2x3 (*.ifc) que foi o formato escolhido para a realização desta tese.

5.2.4 Visualização

Depois do documento IFC criado, resta aceder através do Tekla BIMsight ao ficheiro com o propósito de verificar se toda a informação do projeto consta efetivamente do modelo IFC. À imagem do que sucedeu na primeira fase, também esta exportação correu como esperado e todos os elementos criado no Revit são possíveis de visualizar no modelo IFC simplificado como se pode atestar pela (Figura 31).

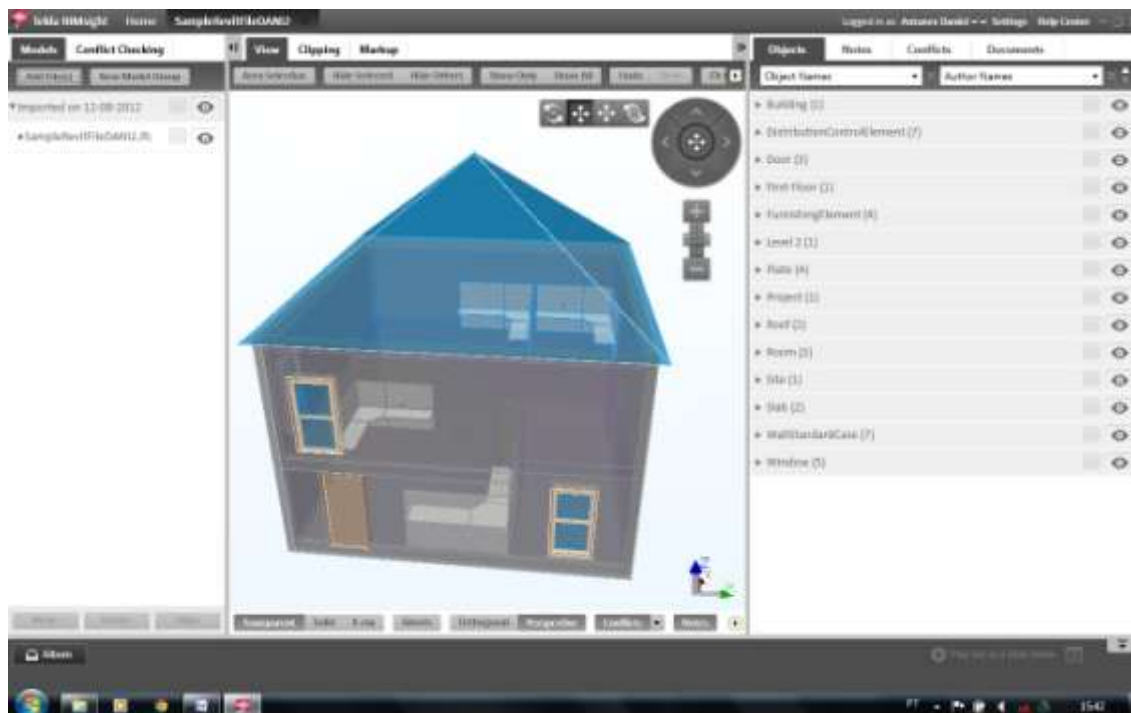


Figura 31 - Resultado da exportação do modelo BIM criado no Revit Architecture 13 e visualizado no Tekla BIMsight em formato IFC.

São bem visíveis os diversos elementos criados e verifica-se que toda a informação do modelo BIM foi transportada para o modelo IFC. Este modelo, ao contrário do criado na primeira fase não conta com painéis solares nem gerador eólico mas em contrapartida apresenta uma rede de sensores mais completa e enriquecida com detalhes.

Para além dos elementos enunciados acima, o modelo exportado do Revit conta ainda com um telhado composto por quatro águas, três espaços denominados de *Rooms*, sendo que dois deles (*Room2* e *Room3*) apresentam mobiliário de escritório - cubículos - dispostos por dois pisos com sete sensores - denominados de *DistributionControlElement*: dois sensores de ocupação, um sensor de humidade, dois sensores de movimento, um sensor de dióxido de carbono e um sensor de energia, preparados para recolher a informação necessária aos estudos comportamentais do edifício.

Capítulo 6.

Conclusões e Trabalho Futuro

6.1 Conclusões Gerais

Relativamente à utilização destas duas potentes ferramentas de 3D BIM, O ArchiCAD 15 da Graphisoft e o Revit Architecture 13 da Autodesk, pode concluir-se que ainda existe um longo caminho a percorrer no que à interação com o trabalho de um engenheiro diz respeito pois estes programas, apesar dos recentes esforços na dotação de ferramentas adicionais de apoio à engenharia, ainda são pensados invariavelmente para o trabalho do arquiteto.

Nem sempre foi fácil encontrar a solução pretendida para dotar o projeto de sensores ou outros objetos exteriores aos programas e se no Revit essa tarefa tenha sido de algum modo facilitada pelo conjunto de famílias já previamente “construídas” pelo grupo de pesquisa da Autodesk, em ArchiCAD as dificuldades foram várias, desde encontrar os sensores pretendidos (movimento, ocupação, CO₂, ...) até à inclusão desses mesmos sensores no projeto. De referir que foram estudados dois programas precisamente porque no ArchiCAD não estava a ser inteiramente conseguido fazer o que era objetivamente instalar uma rede de sensores que disponibilizasse informação relevante ao nível da ocupação dos espaços de escritório por grupos de pessoas.

Apesar disso, penso que foi conseguido demonstrar algumas das capacidades e do potencial de tais ferramentas na engenharia, que apenas será possível atingir se forem disponibilizadas bibliotecas de objetos mais extensas, variadas e de preferência gratuitas que incentivem o trabalho da engenharia, em especial a engenharia eletrotécnica, dentro destes modelos BIM.

O estudo efetuado permite concluir que ainda muito existe por explorar no que à integração do BIM com redes de sensores diz respeito. O modelo de partilha e transferência de dados IFC está em constante evolução e como tal existem sempre novas funcionalidades e definições aplicáveis às ferramentas BIM estudadas nesta dissertação. A versão IFC2x4 estende algumas novas funcionalidades mencionadas relativamente às versões anteriores, IFC2x2 e IFC2x3, mas a opção desta tese recaiu nesta última versão, IFC 2x3, pois é a versão compatível tanto com o ArchiCAD 15 como com o Revit Architecture 13. Estas ferramentas 3D também não param de evoluir no sentido de ser possível uma cada vez maior interoperabilidade entre elas, conseguida à custa de uma melhor agilização dos processos de exportação dos modelos a três dimensões para o formato IFC.

Neste sentido verifica-se pois que a Graphisoft, com o lançamento recente do ArchiCAD 16, se propôs a dar mais uns passos naquilo que é a integração de sistemas, nomeadamente o BIM e o IFC. Nesta nova versão é possível aceder a mais de 10000 objetos através do recém-criado Portal de Componentes BIM o que foi apontado neste trabalho como sendo uma das lacunas existentes na versão anterior, o ArchiCAD 15, ou seja a dificuldade em encontrar e inserir

objetos BIM no modelo 3D. Também a criação de novos objetos com atributos modificáveis foi substancialmente melhorada sendo assim mais fácil criar objetos customizados e adicioná-los posteriormente à biblioteca de objetos. Outro aspeto relevante é o da integração do “*Building Energy Evaluation*”, um programa que realiza as avaliações energéticas nos edifícios criados no modelo 3D, capacidade essa que era anteriormente apenas possível através da aquisição de um *plug-in* separadamente, o EcoDesigner. Ao nível da comunicação e integração com engenharia, foram realizados esforços para melhorar a relação do modelo de interoperabilidade IFC com o modelo virtual BIM, com a criação de novos esquemas, funções e listagens de elementos IFC.

6.2 Trabalho Futuro

O próximo passo neste processo de integração de modelos BIM com redes de sensores será certamente transportar o modelo para a realidade, ou seja, partindo das redes de sensores implementadas no modelo BIM, fazer a relação destas com os sensores reais instalados num espaço de escritório de um edifício e integrando toda a informação recebida pelos sensores reais numa base de dados, permitindo deste modo criar uma rede de informação acessível em tempo real sobre a ocupação desses mesmos espaços.

Com a rede de sensores implementada e a sua base de dados relacional criada, poderá então começar a pensar-se no que fazer com essa informação. E assim, surgirá a outra face das redes de sensores que será a rede de atuadores. Estes permitirão controlar a temperatura, a luminosidade, a humidade, a incidência de luz natural ou qualquer outro fator de conforto num escritório, a partir da informação recolhida ao nível dos sensores.

Alguns do trabalho futuro incidirá seguramente na introdução de pelo menos mais duas funcionalidades a este processo que são a produção e distribuição de energia elétrica. Fecharia a malha dos Net-Zero Buildings onde aliando um consumo mais eficiente e mais inteligente de energia com uma rede local de produção de energia que pode passar por sistemas híbridos (eólico+solar) mas não só, se conseguirá equilibrar a balança energética consumindo desta forma o edifício valores muito próximos dos produzidos.

Outra abordagem futura, esta relacionada com os modelos de interoperabilidade, poderá passar por manipular e/ou criar ficheiros do tipo IFC e fazer a sua posterior importação para o BIM, o que daria outra dimensão à interoperabilidade entre os dois modelos, BIM e IFC. Esta abordagem não foi testada e carece ainda de algum estudo até ao domínio total deste *standard* internacional.

Bibliografia

- [1] Wisam Nader. "Real-Time Power Monitoring, Home Automation and Sustainability", University of Nebraska-Lincoln, 22-4-2011
- [2] Azam Khan, Kasper Hornbæk. "Big Data from the Built Environment", Autodesk Research, September 2011
- [3] Zeeshan Mohammed, Roy Jorgensen Associates Inc. "Building Information Modeling (BIM) and Building Automation Systems (BAS): Potential and Innovation in the Building Industry Utilizing Integrated BIM and BAS", 2011
- [4] Niels Trelldal. "Integrated Data and Process Control During BIM Design", Master Thesis, February 2008
- [5] Building Smart, International Home of OpenBIM, 2013 [Online] Disponível em <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview/ifc-overview-summary>. Consultado em Fevereiro 2013
- [6] Ramtin-Attar, Ebenezer Hailemariam, Simon Breslav, Azam Khan, Gord Kurtenbach. "Sensor-enabled Cubicles for Occupant-centric Capture of Building Performance Data", Autodesk Research, September 2011
- [7] Alan Edgar. "Intelligent Building Processes for Intelligent Buildings", Assoc. AIA, OSCRE Workgroup Program Manager Chair, National Building Information Model Standard, buildingSMARTalliance.
- [8] Steve B. Jack. "What is BIM Model or Building Information Modeling?" [Online] Disponível em <http://www.articlesnatch.com/Article/What-Is-Bim-Model-Or-Building-Information-Modeling-/576034#.UUcRIReeNhk>
- [9] Willem Kymmell. "Building Information Modeling – planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations", McGraw Hill Construction, Abril 2008
- [10] Dana K. Smith. "Green BIM", Março 2010. [Online] Disponível em http://www.greenbuildingpro.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1418:green-bim&catid=8:features&Itemid=30. Consultado em Fevereiro 2013.
- [11] Matthew W. Brewster. "Green BIM: Sustainable Design with Building Information Modeling", August 2009. [Online] Disponível em <http://architosh.com/2009/08/green-bim-sustainable-design-with-building-information-modeling/>. Consultado em Fevereiro 2013.

- [12] Graphisoft . “ArchiCAD 15 Help”. [Online] Disponível em http://help.graphisoft.com/ac15_help_INT/Files/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm. Consultado em Fevereiro 2013.
- [13] Bruce A. Burt. “BIM Interoperability – The promise and the Reality”, Dezembro 2009. Structure Magazine. [Online] Disponível em <http://www.structuremag.org/article.aspx?articleID=995>. Consultado em Fevereiro 2013
- [14] gbXML - Open Green Building XML Schema – A Building Information Modeling Solution for Our Green World. “About gbXML” [Online] Disponível em <http://www.gbxml.org/aboutgbxml.php>. Consultado em Fevereiro 2013
- [15] W3C, World Wide Web Consortium. “Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition)”, Novembro 2008. [Online]-Disponível em <http://www.w3.org/TR/REC-xml/>. Consultado em Fevereiro 2013
- [16] Michael P. Gallaher, Alan C. O’Connor, John L. Dettbarn, Jr., Linda T.Gilday. “Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S Capital Facilities Industry”, Agosto 2004. [Online] Disponível em <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/gcr/2004/NIST.GCR.04-867.pdf>. Consultado em Fevereiro 2013.
- [17] Thomas Liebich, Yoshinobu Adachi, James Forester, Juha Hyvarinen, Kari Karstila, Kent Reed, Stefan Richter, Jeffrey Wix. “IFC2x Edition 3 Technical Corrigendum 1”, 1999-2007. [Online] Disponível em <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>. Consultado em Fevereiro 2013.
- [18] B.Dong, K.P.Lam, Y.C.Huang, Dobbs,G M. “A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments”, 2007.
- [19] Graphisoft. “EcoDesigner - ArchiCAD 15 plug-in”, [Online] Disponível em <http://www.graphisoft.com/products/ecodesigner/>
- [20] psdGraphics. “Silver computer database icon”, Janeiro 2011. [Online] Disponível em <http://www.psdgraphics.com/psd-icons/silver-computer-database-icon-psd/>. Consultado em Fevereiro 2013
- [21] Thomas Liebich, Yoshinobu Adachi, James Forester, Juha Hyvarinen, Stefan Richter, Tim Chipman, Jeffrey Wix. “IFC4 Official Release”, 1996-2013. [Online] Disponível em <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/final/html/index.htm>. Consultado em Fevereiro 2013
- [22] Arcat, Inc. Free Library of BIM (Building Information Modeling) Objects, 1993-2012. [Online] Disponível em http://www.arcat.com/bim/bim_objects.shtml. Consultado em Fevereiro 2013.

- [23] BIM'n CAD. "Comparativo Software BIM", Maio 2012. [Online] Disponível em <http://www.bimncad.pt/5/comparativo-software-bim-autocad-sketchup-archicad-revit-vectorworks.html>. Consultado em Fevereiro 2013.
- [24] Uriel Pereira "BIM – ArchiCAD Vs Revit Vs Vectorworks", Janeiro 2010. [Online] Disponível em <http://www.arq-e-tec.com/2010/01/bim-archicad-vs-revit-vs-vectorworks/>. Consultado em Fevereiro 2013.
- [25] Dennis Nealey. "BIM 1.0, BIM 2.0, BIM 3.0 2010 Update", 2010 AIA National Convention.
- [26] Orlando José Maravilha de Azevedo. "Metodologia BIM : building information modeling na direcção técnica de obras", Dezembro-2009. [Online] Disponível em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10695>. Consultado em Fevereiro 2013.
- [27] Plataforma Tecnológica Portuguesa de Construção. "1º Workshop Nacional BIM ", Novembro 2012. [Online] Disponível em <http://www.ptpc.pt/index.php/pt/eventos/185-realizado-o-1-workshop-bim-portugues>. Consultado em Fevereiro 2013.
- [28] Norbert W.Young Jr., Stephen A. Jones, Harvey M. Bernstein, John E. Gudge. "The Business Value of BIM: Getting Building Information Modeling to the Bottom Line", 2009. [Online] Disponível em <http://www.bim.construction.com/research/>. Consultado em Fevereiro 2013.
- [29] Grupo de trabalho da Autodesk Research. "digital 210 king", 2009. [Online] Disponível em <http://www.digital210king.org/blog.php?p=10>. Consultado em Fevereiro 2013.

Anexos

IfcTimeSeries

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcTimeSeries
  ABSTRACT SUPERTYPE OF(ONEOF(IfcRegularTimeSeries, IfcIrregularTimeSeries));
  Name : IfcLabel;
  Description : OPTIONAL IfcText;
  StartTime : IfcDateTimeSelect;
  EndTime : IfcDateTimeSelect;
  TimeSeriesDataType : IfcTimeSeriesDataTypeEnum;
  DataOrigin : IfcDataOriginEnum;
  UserDefinedDataOrigin : OPTIONAL IfcLabel;
  Unit : OPTIONAL IfcUnit;
  INVERSE
    DocumentedBy : SET [0:1] OF IfcTimeSeriesReferenceRelationship FOR ReferencedTimeSeries;
END_ENTITY;
```

Attribute definitions:

Name : An unique name for the time series.
Description : A text description of the data that the series represents.
StartTime : The start time of a time series.
EndTime : The end time of a time series.
TimeSeriesDataType : The time series data type.
DataOrigin : The origin of a time series data.
UserDefinedDataOrigin : Value of the data origin if DataOrigin attribute is USERDEFINED.
Unit : The unit to be assigned to all values within the time series. Note that mixing units is not allowed. If the value is not given, the global unit for the type of *IfcValue*, as defined at *IfcProject.UnitsInContext* is used.

Inheritance graph:

```
ENTITY IfcTimeSeries;
  ENTITY IfcTimeSeries;
    Name : IfcLabel;
    Description : OPTIONAL IfcText;
    StartTime : IfcDateTimeSelect;
    EndTime : IfcDateTimeSelect;
    TimeSeriesDataType : IfcTimeSeriesDataTypeEnum;
    DataOrigin : IfcDataOriginEnum;
    UserDefinedDataOrigin : OPTIONAL IfcLabel;
    Unit : OPTIONAL IfcUnit;
  INVERSE
    DocumentedBy : SET [0:1] OF IfcTimeSeriesReferenceRelationship FOR ReferencedTimeSeries;
END_ENTITY;
```

IfcElectricalDomain

EXPRESS specification:

```
ENTITY IfcElectricGeneratorType
  SUBTYPE OF (IfcEnergyConversionDeviceType);
  PredefinedType : IfcElectricGeneratorTypeEnum;
END_ENTITY;
```

Attribute definitions:

PredefinedType : Identifies the predefined types of electric generators from which the type required may be set.

Inheritance graph

```

ENTITY IfcElectricGeneratorType;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId      : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory  : IfcOwnerHistory;
    Name          : OPTIONAL IfcLabel;
    Description    : OPTIONAL IfcText;
  ENTITY IfcObjectDefinition;
  INVERSE
    HasAssignments      : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
    IsDecomposedBy      : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes          : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations     : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  ENTITY IfcTypeObject;
    ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
    HasPropertySets      : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
  INVERSE
    ObjectTypeOf      : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
  ENTITY IfcTypeProduct;
    RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
    Tag                : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcElementType;
    ElementType        : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcDistributionElementType;
  ENTITY IfcDistributionFlowElementType;
  ENTITY IfcEnergyConversionDeviceType;
  ENTITY IfcElectricGeneratorType;
    PredefinedType    : IfcElectricGeneratorTypeEnum;
END_ENTITY;

```

EXPRESS specification:

```

ENTITY IfcElectricHeaterType
  SUBTYPE OF (IfcFlowTerminalType);
    PredefinedType : IfcElectricHeaterTypeEnum;
END_ENTITY;

```

Attribute definitions:

PredefinedType : Identifies the predefined types of electric heater from which the type required may be set.

Inheritance graph

```

ENTITY IfcElectricHeaterType;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId      : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory  : IfcOwnerHistory;
    Name          : OPTIONAL IfcLabel;
    Description    : OPTIONAL IfcText;
  ENTITY IfcObjectDefinition;
  INVERSE
    HasAssignments      : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
    IsDecomposedBy      : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes          : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations     : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  ENTITY IfcTypeObject;
    ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
    HasPropertySets      : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
  INVERSE
    ObjectTypeOf      : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
  ENTITY IfcTypeProduct;
    RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
    Tag                : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcElementType;
    ElementType        : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcDistributionElementType;

```

ENTITY [IfcDistributionFlowElementType](#);
 ENTITY [IfcFlowTerminalType](#);
 ENTITY [IfcElectricHeaterType](#);
 PredefinedType : [IfcElectricHeaterTypeEnum](#);
 END_ENTITY;

EXPRESS specification:

ENTITY IfcElectricMotorType
 SUBTYPE OF ([IfcEnergyConversionDeviceType](#));
 PredefinedType : [IfcElectricMotorTypeEnum](#);
 END_ENTITY;

Attribute definitions:

PredefinedType : Identifies the predefined types of electric motor from which the type required may be set.

Inheritance graph

ENTITY IfcElectricMotorType;
 ENTITY [IfcRoot](#);
 GlobalId : [IfcGloballyUniqueId](#);
 OwnerHistory : [IfcOwnerHistory](#);
 Name : OPTIONAL [IfcLabel](#);
 Description : OPTIONAL [IfcText](#);
 ENTITY [IfcObjectDefinition](#);
 INVERSE
 HasAssignments : SET OF [IfcRelAssigns](#) FOR RelatedObjects;
 IsDecomposedBy : SET OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatingObject;
 Decomposes : SET [0:1] OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatedObjects;
 HasAssociations : SET OF [IfcRelAssociates](#) FOR RelatedObjects;
 ENTITY [IfcTypeObject](#);
 ApplicableOccurrence : OPTIONAL [IfcLabel](#);
 HasPropertySets : OPTIONAL SET [1:?] OF [IfcPropertySetDefinition](#);
 INVERSE
 ObjectTypeOf : SET [0:1] OF [IfcRelDefinesByType](#) FOR RelatingType;
 ENTITY [IfcTypeProduct](#);
 RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE [IfcRepresentationMap](#);
 Tag : OPTIONAL [IfcLabel](#);
 ENTITY [IfcElementType](#);
 ElementType : OPTIONAL [IfcLabel](#);
 ENTITY [IfcDistributionElementType](#);
 ENTITY [IfcDistributionFlowElementType](#);
 ENTITY [IfcEnergyConversionDeviceType](#);
 ENTITY [IfcElectricMotorType](#);
 PredefinedType : [IfcElectricMotorTypeEnum](#);
 END_ENTITY;

EXPRESS specification:

ENTITY IfcLightFixtureType
 SUBTYPE OF ([IfcFlowTerminalType](#));
 PredefinedType : [IfcLightFixtureTypeEnum](#);
 END_ENTITY;

Attribute definitions:

PredefinedType : Identifies the predefined types of light fixture from which the type required may be set.

Inheritance graph

ENTITY IfcLightFixtureType;
 ENTITY [IfcRoot](#);
 GlobalId : [IfcGloballyUniqueId](#);
 OwnerHistory : [IfcOwnerHistory](#);
 Name : OPTIONAL [IfcLabel](#);
 Description : OPTIONAL [IfcText](#);
 ENTITY [IfcObjectDefinition](#);
 INVERSE
 HasAssignments : SET OF [IfcRelAssigns](#) FOR RelatedObjects;
 IsDecomposedBy : SET OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatingObject;
 Decomposes : SET [0:1] OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatedObjects;
 HasAssociations : SET OF [IfcRelAssociates](#) FOR RelatedObjects;

```

ENTITY IfcTypeObject;
  ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
  HasPropertySets       : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
INVERSE
  ObjectTypeOf          : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
ENTITY IfcTypeProduct;
  RepresentationMaps    : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
  Tag                   : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcElementType;
  ElementType           : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcDistributionElementType;
ENTITY IfcDistributionFlowElementType;
ENTITY IfcFlowTerminalType;
ENTITY IfcLightFixtureType;
  PredefinedType        : IfcLightFixtureTypeEnum;
END_ENTITY;

```

EXPRESS specification:

```

ENTITY IfcSwitchingDeviceType
  SUBTYPE OF (IfcFlowControllerType);
  PredefinedType : IfcSwitchingDeviceTypeEnum;
END_ENTITY;

```

Attribute definitions:

PredefinedType : Identifies the predefined types of switch from which the type required may be set.

Inheritance graph

```

ENTITY IfcSwitchingDeviceType;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId      : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory  : IfcOwnerHistory;
    Name          : OPTIONAL IfcLabel;
    Description    : OPTIONAL IfcText;
  ENTITY IfcObjectDefinition;
  INVERSE
    HasAssignments : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
    IsDecomposedBy : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes     : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  ENTITY IfcTypeObject;
    ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
    HasPropertySets       : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
  INVERSE
    ObjectTypeOf          : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
  ENTITY IfcTypeProduct;
    RepresentationMaps    : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
    Tag                   : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcElementType;
    ElementType           : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcDistributionElementType;
  ENTITY IfcDistributionFlowElementType;
  ENTITY IfcFlowControllerType;
  ENTITY IfcSwitchingDeviceType;
    PredefinedType        : IfcSwitchingDeviceTypeEnum;
END_ENTITY;

```

IfcBuildingControlsDomain

EXPRESS specification:

ENTITY IfcActuatorType

SUBTYPE OF ([IfcDistributionControlElementType](#));

PredefinedType : [IfcActuatorTypeEnum](#);

END_ENTITY;

Attribute definitions:

PredefinedType : Identifies the predefined types of actuator from which the type required may be set.

Inheritance graph

ENTITY IfcActuatorType;

ENTITY [IfcRoot](#);

GlobalId : [IfcGloballyUniqueId](#);

OwnerHistory : [IfcOwnerHistory](#);

Name : OPTIONAL [IfcLabel](#);

Description : OPTIONAL [IfcText](#);

ENTITY [IfcObjectDefinition](#);

INVERSE

HasAssignments : SET OF [IfcRelAssigns](#) FOR RelatedObjects;

IsDecomposedBy : SET OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatingObject;

Decomposes : SET [0:1] OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatedObjects;

HasAssociations : SET OF [IfcRelAssociates](#) FOR RelatedObjects;

ENTITY [IfcTypeObject](#);

ApplicableOccurrence : OPTIONAL [IfcLabel](#);

HasPropertySets : OPTIONAL SET [1:?] OF [IfcPropertySetDefinition](#);

INVERSE

ObjectTypeOf : SET [0:1] OF [IfcRelDefinesByType](#) FOR RelatingType;

ENTITY [IfcTypeProduct](#);

RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE [IfcRepresentationMap](#);

Tag : OPTIONAL [IfcLabel](#);

ENTITY [IfcElementType](#);

ElementType : OPTIONAL [IfcLabel](#);

ENTITY [IfcDistributionElementType](#);

ENTITY [IfcDistributionControlElementType](#);

ENTITY [IfcActuatorType](#);

PredefinedType : [IfcActuatorTypeEnum](#);

END_ENTITY;

EXPRESS specification:

ENTITY IfcAlarmType

SUBTYPE OF ([IfcDistributionControlElementType](#));

PredefinedType : [IfcAlarmTypeEnum](#);

END_ENTITY;

Attribute definitions:

PredefinedType : Identifies the predefined types of alarm from which the type required may be set.

Inheritance graph

ENTITY IfcAlarmType;

ENTITY [IfcRoot](#);

GlobalId : [IfcGloballyUniqueId](#);

OwnerHistory : [IfcOwnerHistory](#);

Name : OPTIONAL [IfcLabel](#);

Description : OPTIONAL [IfcText](#);

ENTITY [IfcObjectDefinition](#);

INVERSE

HasAssignments : SET OF [IfcRelAssigns](#) FOR RelatedObjects;

IsDecomposedBy : SET OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatingObject;

Decomposes : SET [0:1] OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatedObjects;

HasAssociations : SET OF [IfcRelAssociates](#) FOR RelatedObjects;

ENTITY [IfcTypeObject](#);

ApplicableOccurrence : OPTIONAL [IfcLabel](#);

HasPropertySets : OPTIONAL SET [1:?] OF [IfcPropertySetDefinition](#);

```

INVERSE
  ObjectTypeOf      : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
ENTITY IfcTypeProduct;
  RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
  Tag                : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcElementType;
  ElementType       : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcDistributionElementType;
ENTITY IfcDistributionControlElementType;
ENTITY IfcAlarmType;
  PredefinedType    : IfcAlarmTypeEnum;
END_ENTITY;

EXPRESS specification:
ENTITY IfcControllerType
  SUBTYPE OF (IfcDistributionControlElementType);
  PredefinedType    : IfcControllerTypeEnum;
END_ENTITY;

Attribute definitions:
PredefinedType : Identifies the predefined types of controller from which the type required may be set.

Inheritance graph
ENTITY IfcControllerType;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId      : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory  : IfcOwnerHistory;
    Name          : OPTIONAL IfcLabel;
    Description    : OPTIONAL IfcText;
  ENTITY IfcObjectDefinition;
  INVERSE
    HasAssignments : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
    IsDecomposedBy  : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes      : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  ENTITY IfcTypeObject;
    ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
    HasPropertySets       : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
  INVERSE
    ObjectTypeOf : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
  ENTITY IfcTypeProduct;
    RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
    Tag                : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcElementType;
    ElementType       : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcDistributionElementType;
  ENTITY IfcDistributionControlElementType;
  ENTITY IfcControllerType;
    PredefinedType    : IfcControllerTypeEnum;
END_ENTITY;

EXPRESS specification:
ENTITY IfcSensorType
  SUBTYPE OF (IfcDistributionControlElementType);
  PredefinedType    : IfcSensorTypeEnum;
END_ENTITY;

Attribute definitions:
PredefinedType : Identifies the predefined types of sensor from which the type required may be set.

Inheritance graph
ENTITY IfcSensorType;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId      : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory  : IfcOwnerHistory;
    Name          : OPTIONAL IfcLabel;
    Description    : OPTIONAL IfcText;

```

```

ENTITY IfcObjectDefinition;
INVERSE
  HasAssignments      : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
  IsDecomposedBy      : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
  Decomposes          : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
  HasAssociations     : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
ENTITY IfcTypeObject;
  ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
  HasPropertySets      : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
INVERSE
  ObjectTypeOf        : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
ENTITY IfcTypeProduct;
  RepresentationMaps   : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
  Tag                  : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcElementType;
  ElementType          : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcDistributionElementType;
ENTITY IfcDistributionControlElementType;
ENTITY IfcSensorType;
  PredefinedType      : IfcSensorTypeEnum;
END_ENTITY;

```

EXPRESS specification:

```

ENTITY IfcFlowInstrumentType
  SUBTYPE OF (IfcDistributionControlElementType);
  PredefinedType      : IfcFlowInstrumentTypeEnum;
END_ENTITY;

```

Attribute definitions:

PredefinedType : Identifies the predefined types of flow instrument from which the type required may be set.

Inheritance graph

```

ENTITY IfcFlowInstrumentType;
ENTITY IfcRoot;
  GlobalId            : IfcGloballyUniqueId;
  OwnerHistory        : IfcOwnerHistory;
  Name                 : OPTIONAL IfcLabel;
  Description          : OPTIONAL IfcText;
ENTITY IfcObjectDefinition;
INVERSE
  HasAssignments      : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
  IsDecomposedBy      : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
  Decomposes          : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
  HasAssociations     : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
ENTITY IfcTypeObject;
  ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
  HasPropertySets      : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
INVERSE
  ObjectTypeOf        : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
ENTITY IfcTypeProduct;
  RepresentationMaps   : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
  Tag                  : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcElementType;
  ElementType          : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcDistributionElementType;
ENTITY IfcDistributionControlElementType;
ENTITY IfcFlowInstrumentType;
  PredefinedType      : IfcFlowInstrumentTypeEnum;
END_ENTITY;

```

IfcHvacDomain

EXPRESS specification:

ENTITY IfcBoilerType

```
SUBTYPE OF (IfcEnergyConversionDeviceType);
  PredefinedType      : IfcBoilerTypeEnum;
  WHERE
    WR1      : (PredefinedType <> IfcBoilerTypeEnum.USERDEFINED) OR ((PredefinedType =
      IfcBoilerTypeEnum.USERDEFINED) AND EXISTS(SELF\IfcElementType.ElementType));

END_ENTITY;
```

Attribute definitions:

PredefinedType : Defines types of boilers.

Inheritance graph

```
ENTITY IfcBoilerType;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId      : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory  : IfcOwnerHistory;
    Name          : OPTIONAL IfcLabel;
    Description    : OPTIONAL IfcText;
  ENTITY IfcObjectDefinition;
  INVERSE
    HasAssignments      : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
    IsDecomposedBy      : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes          : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations     : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  ENTITY IfcTypeObject;
    ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
    HasPropertySets      : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
  INVERSE
    ObjectTypeOf      : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
  ENTITY IfcTypeProduct;
    RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
    Tag                : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcElementType;
    ElementType        : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcDistributionElementType;
  ENTITY IfcDistributionFlowElementType;
  ENTITY IfcEnergyConversionDeviceType;
  ENTITY IfcBoilerType;
    PredefinedType      : IfcBoilerTypeEnum;
END_ENTITY;
```

EXPRESS specification:

ENTITY IfcChillerType

```
SUBTYPE OF (IfcEnergyConversionDeviceType);
  PredefinedType      : IfcChillerTypeEnum;
  WHERE
    WR1      : (PredefinedType <> IfcChillerTypeEnum.USERDEFINED) OR ((PredefinedType =
      IfcChillerTypeEnum.USERDEFINED) AND EXISTS(SELF\IfcElementType.ElementType));

END_ENTITY;
```

Attribute definitions:

PredefinedType : Defines the typical types of chillers (e.g., air-cooled, water-cooled, etc.).

Inheritance graph

```
ENTITY IfcChillerType;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId      : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory  : IfcOwnerHistory;
    Name          : OPTIONAL IfcLabel;
    Description    : OPTIONAL IfcText;
  ENTITY IfcObjectDefinition;
  INVERSE
    HasAssignments      : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
```



```

    IsDecomposedBy      : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes          : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations     : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
ENTITY IfcTypeObject;
    ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
    HasPropertySets      : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
INVERSE
    ObjectTypeOf         : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
ENTITY IfcTypeProduct;
    RepresentationMaps   : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
    Tag                  : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcElementType;
    ElementType          : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcDistributionElementType;
ENTITY IfcDistributionFlowElementType;
ENTITY IfcEnergyConversionDeviceType;
ENTITY IfcChillerType;
    PredefinedType       : IfcChillerTypeEnum;
END_ENTITY;

```

EXPRESS specification:

```

ENTITY IfcCoilType
  SUBTYPE OF (IfcEnergyConversionDeviceType);
    PredefinedType      : IfcCoilTypeEnum;
  WHERE
    WR1      : (PredefinedType <> IfcCoilTypeEnum.USERDEFINED) OR ((PredefinedType = IfcCoilTypeEnum.USERDEFINED)
                  AND EXISTS(SELF\IfcElementType.ElementType));
END_ENTITY;

```

Attribute definitions:

PredefinedType : Defines typical types of coils (e.g., Cooling, Heating, etc.)

Inheritance graph

```

ENTITY IfcCoilType;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId      : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory  : IfcOwnerHistory;
    Name          : OPTIONAL IfcLabel;
    Description    : OPTIONAL IfcText;
  ENTITY IfcObjectDefinition;
  INVERSE
    HasAssignments : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
    IsDecomposedBy : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes     : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  ENTITY IfcTypeObject;
    ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
    HasPropertySets      : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
  INVERSE
    ObjectTypeOf         : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
  ENTITY IfcTypeProduct;
    RepresentationMaps   : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
    Tag                  : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcElementType;
    ElementType          : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcDistributionElementType;
  ENTITY IfcDistributionFlowElementType;
  ENTITY IfcEnergyConversionDeviceType;
  ENTITY IfcCoilType;
    PredefinedType       : IfcCoilTypeEnum;
END_ENTITY;

```

EXPRESS specification:

ENTITY IfcCondenserType

SUBTYPE OF ([IfcEnergyConversionDeviceType](#));

PredefinedType : [IfcCondenserTypeEnum](#);

WHERE

WR1 : (PredefinedType <> IfcCondenserTypeEnum.USERDEFINED) OR ((PredefinedType = IfcCondenserTypeEnum.USERDEFINED) AND EXISTS(SELF\IfcElementType.ElementType));

END_ENTITY;

Attribute definitions:

PredefinedType : Defines the type of condenser.

Inheritance graph

ENTITY IfcCondenserType;

ENTITY [IfcRoot](#);

GlobalId : [IfcGloballyUniqueId](#);

OwnerHistory : [IfcOwnerHistory](#);

Name : OPTIONAL [IfcLabel](#);

Description : OPTIONAL [IfcText](#);

ENTITY [IfcObjectDefinition](#);

INVERSE

HasAssignments : SET OF [IfcRelAssigns](#) FOR RelatedObjects;

IsDecomposedBy : SET OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatingObject;

Decomposes : SET [0:1] OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatedObjects;

HasAssociations : SET OF [IfcRelAssociates](#) FOR RelatedObjects;

ENTITY [IfcTypeObject](#);

ApplicableOccurrence : OPTIONAL [IfcLabel](#);

HasPropertySets : OPTIONAL SET [1:?] OF [IfcPropertySetDefinition](#);

INVERSE

ObjectTypeOf : SET [0:1] OF [IfcRelDefinesByType](#) FOR RelatingType;

ENTITY [IfcTypeProduct](#);

RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE [IfcRepresentationMap](#);

Tag : OPTIONAL [IfcLabel](#);

ENTITY [IfcElementType](#);

ElementType : OPTIONAL [IfcLabel](#);

ENTITY [IfcDistributionElementType](#);

ENTITY [IfcDistributionFlowElementType](#);

ENTITY [IfcEnergyConversionDeviceType](#);

ENTITY [IfcCondenserType](#);

PredefinedType : [IfcCondenserTypeEnum](#);

END_ENTITY;

EXPRESS specification:

ENTITY IfcCooledBeamType

SUBTYPE OF ([IfcEnergyConversionDeviceType](#));

PredefinedType : [IfcCooledBeamTypeEnum](#);

WHERE

WR1 : (PredefinedType <> IfcCooledBeamTypeEnum.USERDEFINED) OR ((PredefinedType = IfcCooledBeamTypeEnum.USERDEFINED) AND EXISTS(SELF\IfcElementType.ElementType));

END_ENTITY;

Attribute definitions:

PredefinedType : Defines the type of cooled beam.

Inheritance graph

ENTITY IfcCooledBeamType;

ENTITY [IfcRoot](#);

GlobalId : [IfcGloballyUniqueId](#);

OwnerHistory : [IfcOwnerHistory](#);

Name : OPTIONAL [IfcLabel](#);

Description : OPTIONAL [IfcText](#);

ENTITY [IfcObjectDefinition](#);

INVERSE

HasAssignments : SET OF [IfcRelAssigns](#) FOR RelatedObjects;

IsDecomposedBy : SET OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatingObject;

Decomposes : SET [0:1] OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatedObjects;

HasAssociations : SET OF [IfcRelAssociates](#) FOR RelatedObjects;

```

ENTITY IfcTypeObject;
  ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
  HasPropertySets       : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
INVERSE
  ObjectTypeOf          : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
ENTITY IfcTypeProduct;
  RepresentationMaps    : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
  Tag                   : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcElementType;
  ElementType           : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcDistributionElementType;
ENTITY IfcDistributionFlowElementType;
ENTITY IfcEnergyConversionDeviceType;
ENTITY IfcCooledBeamType;
  PredefinedType        : IfcCooledBeamTypeEnum;
END_ENTITY;

```

EXPRESS specification:

```

ENTITY IfcCoolingTowerType
  SUBTYPE OF (IfcEnergyConversionDeviceType);
  PredefinedType : IfcCoolingTowerTypeEnum;
  WHERE
    WR1 : (PredefinedType <> IfcCoolingTowerTypeEnum.USERDEFINED) OR ((PredefinedType =
      IfcCoolingTowerTypeEnum.USERDEFINED) AND EXISTS(SELF\IfcElementType.ElementType));
END_ENTITY;

```

Attribute definitions:

PredefinedType : Defines the typical types of cooling towers (e.g., OpenTower, ClosedTower, CrossFlow, etc.).

Inheritance graph

```

ENTITY IfcCoolingTowerType;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory : IfcOwnerHistory;
    Name : OPTIONAL IfcLabel;
    Description : OPTIONAL IfcText;
  ENTITY IfcObjectDefinition;
  INVERSE
    HasAssignments : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
    IsDecomposedBy : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  ENTITY IfcTypeObject;
    ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
    HasPropertySets : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
  INVERSE
    ObjectTypeOf : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
  ENTITY IfcTypeProduct;
    RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
    Tag : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcElementType;
    ElementType : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcDistributionElementType;
  ENTITY IfcDistributionFlowElementType;
  ENTITY IfcEnergyConversionDeviceType;
  ENTITY IfcCoolingTowerType;
    PredefinedType : IfcCoolingTowerTypeEnum;
END_ENTITY;

```

EXPRESS specification:

ENTITY IfcEvaporativeCoolerType

SUBTYPE OF ([IfcEnergyConversionDeviceType](#));

PredefinedType : [IfcEvaporativeCoolerTypeEnum](#);

WHERE

WR1 : (PredefinedType <> IfcEvaporativeCoolerTypeEnum.USERDEFINED) OR ((PredefinedType = IfcEvaporativeCoolerTypeEnum.USERDEFINED) AND EXISTS(SELF\IfcElementType.ElementType));

END_ENTITY;

Attribute definitions:

PredefinedType : Defines the type of evaporative cooler.

Inheritance graph

ENTITY IfcEvaporativeCoolerType;

ENTITY [IfcRoot](#);

GlobalId : [IfcGloballyUniqueId](#);

OwnerHistory : [IfcOwnerHistory](#);

Name : OPTIONAL [IfcLabel](#);

Description : OPTIONAL [IfcText](#);

ENTITY [IfcObjectDefinition](#);

INVERSE

HasAssignments : SET OF [IfcRelAssigns](#) FOR RelatedObjects;

IsDecomposedBy : SET OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatingObject;

Decomposes : SET [0:1] OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatedObjects;

HasAssociations : SET OF [IfcRelAssociates](#) FOR RelatedObjects;

ENTITY [IfcTypeObject](#);

ApplicableOccurrence : OPTIONAL [IfcLabel](#);

HasPropertySets : OPTIONAL SET [1:?] OF [IfcPropertySetDefinition](#);

INVERSE

ObjectTypeOf : SET [0:1] OF [IfcRelDefinesByType](#) FOR RelatingType;

ENTITY [IfcTypeProduct](#);

RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE [IfcRepresentationMap](#);

Tag : OPTIONAL [IfcLabel](#);

ENTITY [IfcElementType](#);

ElementType : OPTIONAL [IfcLabel](#);

ENTITY [IfcDistributionElementType](#);

ENTITY [IfcDistributionFlowElementType](#);

ENTITY [IfcEnergyConversionDeviceType](#);

ENTITY [IfcEvaporativeCoolerType](#);

PredefinedType : [IfcEvaporativeCoolerTypeEnum](#);

END_ENTITY;

EXPRESS specification:

ENTITY IfcEvaporatorType

SUBTYPE OF ([IfcEnergyConversionDeviceType](#));

PredefinedType : [IfcEvaporatorTypeEnum](#);

WHERE

WR1 : (PredefinedType <> IfcEvaporatorTypeEnum.USERDEFINED) OR ((PredefinedType = IfcEvaporatorTypeEnum.USERDEFINED) AND EXISTS(SELF\IfcElementType.ElementType));

END_ENTITY;

Attribute definitions:

PredefinedType : Defines the type of evaporator.

Inheritance graph

ENTITY IfcEvaporatorType;

ENTITY [IfcRoot](#);

GlobalId : [IfcGloballyUniqueId](#);

OwnerHistory : [IfcOwnerHistory](#);

Name : OPTIONAL [IfcLabel](#);

Description : OPTIONAL [IfcText](#);

ENTITY [IfcObjectDefinition](#);

INVERSE

HasAssignments : SET OF [IfcRelAssigns](#) FOR RelatedObjects;

IsDecomposedBy : SET OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatingObject;

Decomposes : SET [0:1] OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatedObjects;

HasAssociations : SET OF [IfcRelAssociates](#) FOR RelatedObjects;

```

ENTITY IfcTypeObject;
  ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
  HasPropertySets      : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
INVERSE
  ObjectTypeOf : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
ENTITY IfcTypeProduct;
  RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
  Tag                : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcElementType;
  ElementType : OPTIONAL IfcLabel;
ENTITY IfcDistributionElementType;
ENTITY IfcDistributionFlowElementType;
ENTITY IfcEnergyConversionDeviceType;
ENTITY IfcEvaporatorType;
  PredefinedType : IfcEvaporatorTypeEnum;
END_ENTITY;

```

EXPRESS specification:

```

ENTITY IfcHeatExchangerType
  SUBTYPE OF (IfcEnergyConversionDeviceType);
  PredefinedType : IfcHeatExchangerTypeEnum;
  WHERE
    WR1 : (PredefinedType <> IfcHeatExchangerTypeEnum.USERDEFINED) OR ((PredefinedType =
      IfcHeatExchangerTypeEnum.USERDEFINED) AND EXISTS(SELF\IfcElementType.ElementType));
END_ENTITY;

```

Attribute definitions:

PredefinedType : Defines the basic types of heat exchanger (e.g., plate, shell and tube, etc.).

Inheritance graph

```

ENTITY IfcHeatExchangerType;
  ENTITY IfcRoot;
    GlobalId : IfcGloballyUniqueId;
    OwnerHistory : IfcOwnerHistory;
    Name : OPTIONAL IfcLabel;
    Description : OPTIONAL IfcText;
  ENTITY IfcObjectDefinition;
  INVERSE
    HasAssignments : SET OF IfcRelAssigns FOR RelatedObjects;
    IsDecomposedBy : SET OF IfcRelDecomposes FOR RelatingObject;
    Decomposes : SET [0:1] OF IfcRelDecomposes FOR RelatedObjects;
    HasAssociations : SET OF IfcRelAssociates FOR RelatedObjects;
  ENTITY IfcTypeObject;
    ApplicableOccurrence : OPTIONAL IfcLabel;
    HasPropertySets : OPTIONAL SET [1:?] OF IfcPropertySetDefinition;
  INVERSE
    ObjectTypeOf : SET [0:1] OF IfcRelDefinesByType FOR RelatingType;
  ENTITY IfcTypeProduct;
    RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE IfcRepresentationMap;
    Tag : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcElementType;
    ElementType : OPTIONAL IfcLabel;
  ENTITY IfcDistributionElementType;
  ENTITY IfcDistributionFlowElementType;
  ENTITY IfcEnergyConversionDeviceType;
  ENTITY IfcHeatExchangerType;
    PredefinedType : IfcHeatExchangerTypeEnum;
END_ENTITY;

```

EXPRESS specification:

ENTITY IfcHumidifierType

SUBTYPE OF ([IfcEnergyConversionDeviceType](#));

PredefinedType : [IfcHumidifierTypeEnum](#);

WHERE

WR1 : (PredefinedType <> IfcHumidifierTypeEnum.USERDEFINED) OR ((PredefinedType = IfcHumidifierTypeEnum.USERDEFINED) AND EXISTS(SELf\IfcElementType.ElementType));

END_ENTITY;

Attribute definitions:

PredefinedType : Defines the type of humidifier.

Inheritance graph

ENTITY IfcHumidifierType;

ENTITY [IfcRoot](#);

GlobalId : [IfcGloballyUniqueId](#);

OwnerHistory : [IfcOwnerHistory](#);

Name : OPTIONAL [IfcLabel](#);

Description : OPTIONAL [IfcText](#);

ENTITY [IfcObjectDefinition](#);

INVERSE

HasAssignments : SET OF [IfcRelAssigns](#) FOR RelatedObjects;

IsDecomposedBy : SET OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatingObject;

Decomposes : SET [0:1] OF [IfcRelDecomposes](#) FOR RelatedObjects;

HasAssociations : SET OF [IfcRelAssociates](#) FOR RelatedObjects;

ENTITY [IfcTypeObject](#);

ApplicableOccurrence : OPTIONAL [IfcLabel](#);

HasPropertySets : OPTIONAL SET [1:?] OF [IfcPropertySetDefinition](#);

INVERSE

ObjectTypeOf : SET [0:1] OF [IfcRelDefinesByType](#) FOR RelatingType;

ENTITY [IfcTypeProduct](#);

RepresentationMaps : OPTIONAL LIST [1:?] OF UNIQUE [IfcRepresentationMap](#);

Tag : OPTIONAL [IfcLabel](#);

ENTITY [IfcElementType](#);

ElementType : OPTIONAL [IfcLabel](#);

ENTITY [IfcDistributionElementType](#);

ENTITY [IfcDistributionFlowElementType](#);

ENTITY [IfcEnergyConversionDeviceType](#);

ENTITY [IfcHumidifierType](#);

PredefinedType : [IfcHumidifierTypeEnum](#);

END_ENTITY;